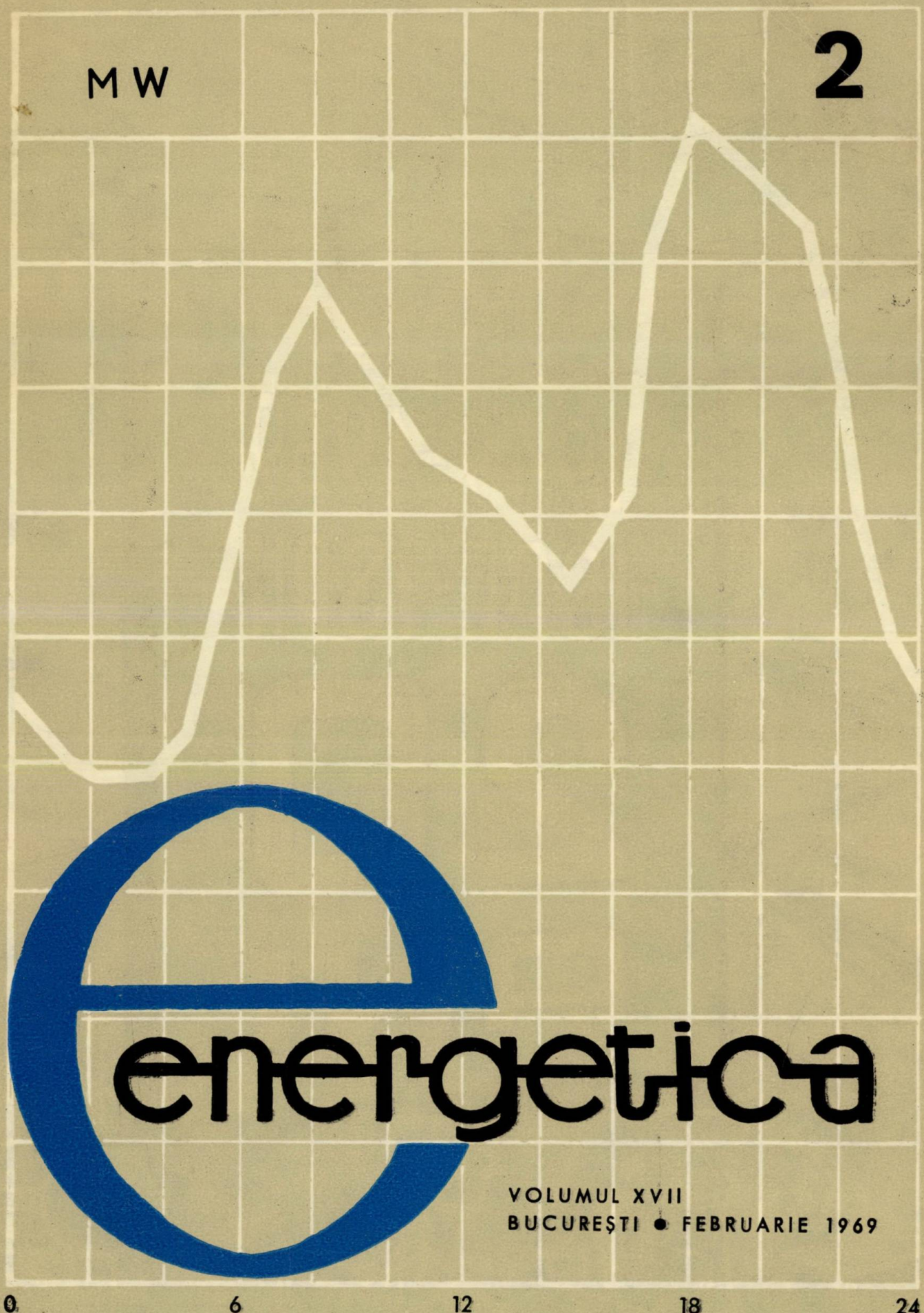
E 2039



energetica

VOLUMUL XVII
BUCUREȘTI • FEBRUARIE 1969

MEE
1949-1969
ISPE-ISPH
20
ANI

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 17 Nr. 2 FEBRUARIE

MŰSZAKI KÖNYVTÁR DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLY

Cuprinsul

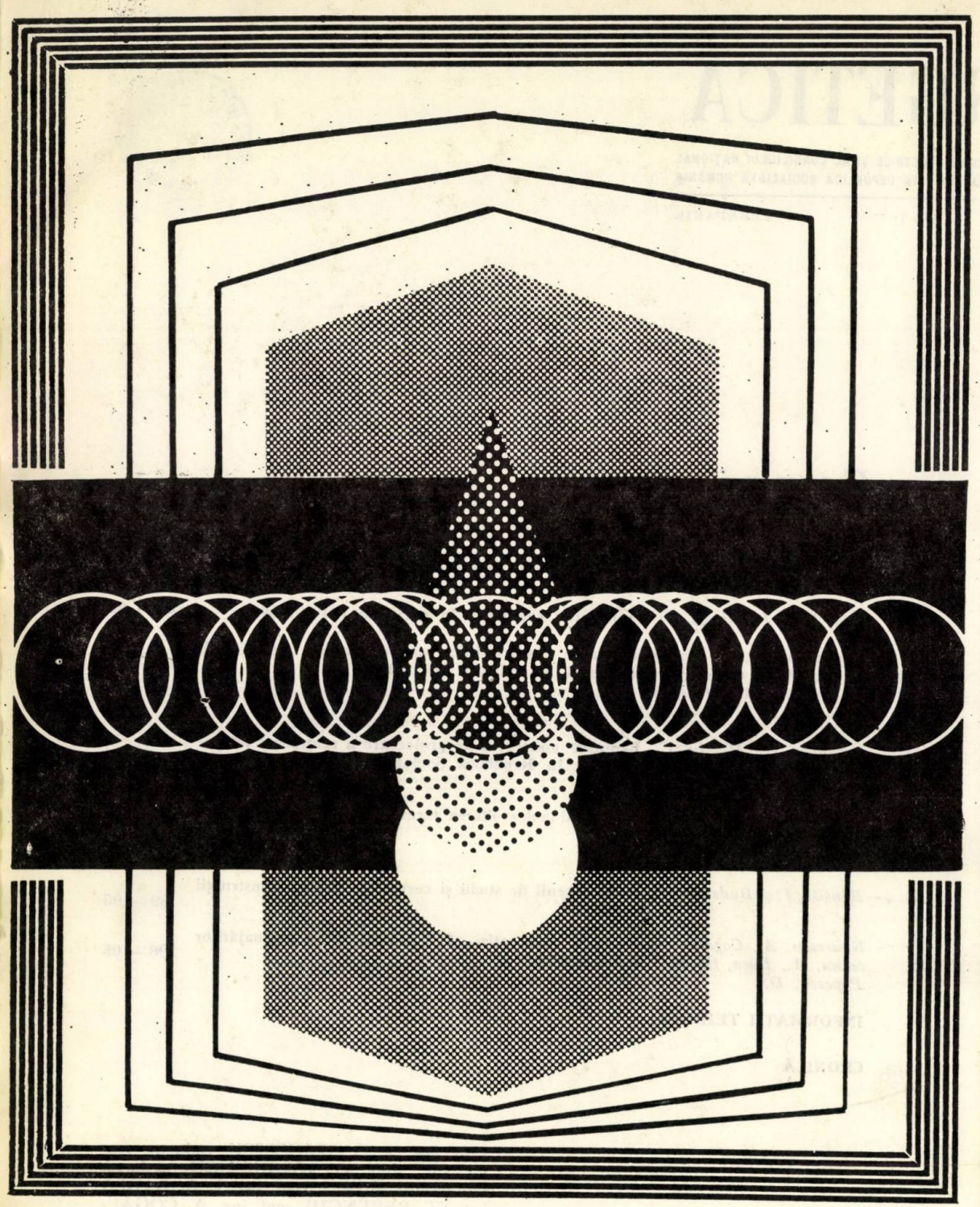
Georgescu, A.	**20 de ani de proiectare în ramura energiei electrice**	57— 58
Nitu, V. şi *Iorgulescu, Fl.*	**Proiectarea energetică în perioada 1949—1969**	59— 62
Constantinescu, E., Groza, L., Manolescu, G., Bogdan, S., Sevastru, A., Mişu, N. şi *Costin, E.*	**Elemente caracteristice ale dezvoltării electrificării României în perioada 1950—1970**	62— 70
Burducea, C., Moţoiu, C., Hristoforov, A., Goldenberg, C. şi *Mirea, N.*	**Evoluţia concepţiei de proiectare a centralelor termoelectrice în Republica Socialistă România**	70— 84
Stăncescu, I. D., Renţea, D., Voinea, M., Bran, E., Niculescu, N. şi *David, N.*	**Contribuţii la dezvoltarea termoficării în R. S. România**	84— 89
Băncilă, I. şi *Budeanu, C.*	**Două decenii de studii şi cercetări pentru construcţii energetice**	89— 96
Nourescu, A., Cogălniceanu, A., Luca, Gh. şi *Popescu, D.*	**Evoluţia concepţiei de proiectare a amenajărilor hidroelectrice**	96—105

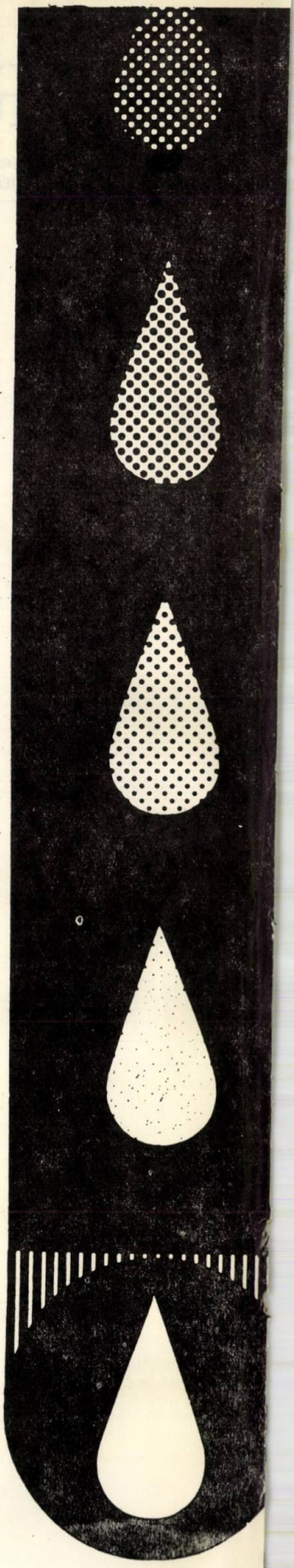
INFORMAŢII TEHNICE

CRONICĂ

Prof. ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA ing. ŞT. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, conf. ing. E. CONSTANTINESCU, ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei R. S. România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, conf. ing. V. NITU, ing. A. SPÎNU.

OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE





Schimbători de ioni — rășini absorbante pentru prepararea apei în toate ramurile industriale s-au dovedit excelente pentru :

- **— îndepărtarea unor componenți nedoriți**
- **— îmbogățirea unor produse valoroase**
- **— separarea unor substanțe chimice**
- **— reprezentarea unor produse chimice valoroase**

WOFATIT

Fabrica de culori WOLFEN VEB — Republica Democrată Germană
CHEMIE—EXPORT—IMPORT
întreprindere de stat de comerț exterior a Republicii Democrate Germane
DDR 1055 Berlin Storkower Str. 133
Telegramme : AHBCHEMIE Telex : 011 2171 ahbc dd

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311.1(498)001

Джеорджеску, А.: **20 лет проектирования в отрясли электрической энергии.**

Energetica 17 (1969), No. 2, стр. 57—58

ДК 621311.1(498)001.1/6

Ниту, В., Иоргулеску, Фл.: **Проектироваиие и технический прогрес.**

Energetica 17(1969), No. 2, стр. 59—62

ДК 621.311.16(498).001

Константинеску, Е., Гроза, Л., Манолеску, Г., Богдан, С., Севастру, А., Мишу, Н., Костин, Е.: **Характеристические элемеиты развития электроэнергетической системы С. Р. Румынии.**

Energetica 17 (1969), No. 2, стр. 62—70

ДК 621.311.22(498)001

Бурдучя, К., Моцою, К., Христофоров, А., Гольденберг, К. и Миря, Н. **Развитие концепции проектирования тепловых электрических станций.**

Energetica 17 (1969), No. 2, стр. 70—74

ДК 621.311.22:697.34(498)

Стэнческу, И. Д., Ренця, Д., Войня, М., Бран, Е., Никулеску, Н., и *Давид, Н.:* **Развитие теплофикационных установок в С. Р. Румынии (тепловые станции и теплофикационные сети).**

Energetica 17 (1969), No. 2, стр. 84—89

ДК 621.311.2(498)001.5

Бэнчилэ, И. и *Будяну, К.:* **Два десятилетия исследования для энергетического строительства.**

Energetica 17 (1969), No. 2, стр. 89—96

Ноуреску, А., Когэлничяну, А., Лука, Г. и *Попеску, Д.:* **Эволуция концепции проектирования гидроэлектрических сооружений.**

Energetica 17 (1969), No. 2 стр. 96—105

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.311.1(498)001

Georgescu, A.: **Zwanzig Jahre Proejktentwicklungen im Bereich der Energiewirtschaft.**

Energetica 17 (1969), H.2, S. 57—58

DK 621.311.1(498)001.1/6

Nitu, V. I. und *Iorgulescu, Fl.:* **Projektierung und technischer Fortschritt.**

Energetica 17 (1969) , H. 2, S. 59—62

DK 621.311.16(498)001

Constantinescu, E., Groza, L., Manolescu, G., Bogdan, S., Sevastru, A., Mişu, N. und *Costin, E.:* **Charakteristische Merkmale der Entwicklung des Verbundsystems in Rumänien.**

Energetica 17 (1969), H.2, S. 62—70

DK 621.311.22(498)001

Burducea, C., Moţoiu, C., Hristoforov, A., Goldenberg, C. und *Mirea, N.*: **Wandlungen des Konzepts der Projektierung von Wärmekraftwerken.**

Energetica 17 (1969) , H. 2, S. 70—84

DK 621.311.22:697.34 (498)

Stăncescu, I. D., Renţea, D., Voinea, M., Bran, E., Niculescu, N. und *David, N.*: **Entwicklung der Heizkraftwirtschaft in Rumänien**

Energetica 17 (1969), H. 2, S. 84—89

DK 621.311.2(498)001.5

Băncilă, I. und *Budeanu, C.*: **Zwei Jahrzehnte Studien und Forschung für Bauanlagen der Energiewirtschaft.**

Energetica 17 (1969), H 2, S. 89—96

Nouvescu, A., Cogălniceanu, A., Luca, Gh. und *Popescu, D.:* **Wandlungen in der Auffassung der Projektentwicklung von Wasserkraftwerken.**

Energetica 17(1969), H. 2, S. 96—105

SOMMAIRE

CD 621.311.1(498)001

Georgescu, A: **Vingt années de projets dans le domaine de l'électricité.**

Energetica 17 (1969), No. 2, p. 57 — 58

CD 621.311.1(498)001.1/6

Nitu , V. et *Iorgulescu, Fl.*: **L'établissement des projets et le progrès technique.**

Energetica 17 (1969), No. 2, p. 59 — 62

CD 621.311.16(498)001

Constantinescu, E., Groza, L., Manolescu, G., Bogdan, S., Sevastru, A., Mişu, N. et *Costin, E.*: **Les éléments caractéristiques du développement du réseau électrique roumain.**

Energetica 17 (1969), No. 2, p. 62 — 70

CD 621.311.22 (498)001

Burducea, C., Moţoiu, C., Hristoforov, A., Goldenberg, C. et *Mirea, N.*: **L'évolution de la conception de l'établissement des projets de centrales thermiques.**

Energetica 17 (1969), No. 2, p. 70 — 84

CD 621.311.22:697.34(498)

Stăncescu, I. D., Renţea, D., Voinea, M., Bran, E., Niculescu, N. et David, N.: **Le développement des installations combinées d'électricité et chauffage à distance en Roumanie (centrales combinées et réseaux de chauffage à distance).**

Energetica 17 (1969), No. 2, p. 84 — 89

CD 621.311.2(498)001.5

Băncilă, I. et Budeanu, C.: **Vingt années d'études et de recherches dans le domaine des constructions énergétiques.**

Energetica 17 (1969), No. 2, p. 89 — 96

Nourescu, A., Cogălniceanu, A., Luca, Gh. et *Popescu, D.*: **L'évolution de la conception des projets pour aménagements hydroélectriques.**

Energetica 17 (1969), No. 2, p. 96 — 105

CONTENTS

DC 621.311.1(498)001

Georgescu, A. **Twenty years of design in the field of electric power.**

Energetica 17 (1969), nr. 2, p. 57 — 58

DC 621.311.1(498)001.1/6

Nitu, V. and *Iorgulescu, Fl.*: **Design and technical progress.**

Energetica 17 (1969), nr. 2, p. 59 — 62

DC 621.311.16(498)001

Constantinescu, E., Groza, L., Manolescu, G., Bogdan, S., Sevastru, A., Mişu, N. and *Costin, E.*: **The characteristical elements of the development of the electric power system in Romania.**

Energetica 17 (1969), nr. 2, p. 62 — 70

DC 621.311.22(498)001

Burducea, C., Moţoiu, C., Hristoforov, A., Goldenberg, C. and *Mirea, N.*: **Evolution of the design conception of thermal power plants.**

Energetica 17 (1969), nr. 2, p. 70 — 84

CD 621.311.22:697.34(498)

Stăncescu, I. D., Renţea, D., Voinea, M., Bran, E., Niculescu, N. and *David, N.*: **The development of combined heat and power production in Romania (heat and power stations and distance heating systems).**

Energetica 17 (1969), nr. 2, p. 84 — 89

DC 621.311.2(498)001.5

Băncilă, I. and *Budeanu, C.*: **Twenty years of studies and research in the branch of power structures.**

Energetica 17 (1969), nr. 2, p. 89 — 96

Nourescu, A., Cogălniceanu, A., Luca, Gh. and *Popescu, D.*: **Evolution of the planning conception of hydro-electric power stations.**

Energetica 17 (1969), nr. 2, p. 96 — 105

20 DE ANI DE PROIECTARE ÎN RAMURA ENERGIEI ELECTRICE

Ing. ADRIAN GEORGESCU,
adjunct al ministrului energiei electrice

În anul 1969 sărbătorim un eveniment însemnat al energeticii românești, împlinirea a 20 de ani de la înființarea Institutului de Studii și Proiectări Energetice — I.S.P.E. —, care s-a împărțit în anul 1961 în cele două institute de proiectare energetice, Institutul de studii și proiectări energetice — I.S.P.E. — și Institutul de studii și proiectări hidroenergetice — I.S.P.H. —, ambele constituind actualmente pîrghii importante ale activității Ministerului Energiei Electrice.

Aceste instituții tehnice, ca și celelalte similare înființate în R. S. România, sînt tipice regimului socialist, prin ele concretizîndu-se în proiectare politica și directivele partidului de realizare a programului vast de investiții, care au adus transformări radicale întregii structuri a țării noastre.

Cu caracter prioritar trebuie să se dezvolte sectorul energetic, fiind dovedit, după experiența tuturor țărilor socialiste, că producția de energie electrică trebuie să preceadă dezvoltarea industriei, și în acest scop s-a elaborat de către partid planul de electrificare pentru perioada 1950—1960, primul plan de perspectivă al regimului nostru.

I.S.P.E. a tradus în documentații tehnice prevederile acestui plan și apoi, împreună cu I.S.P.H., a continuat extinderea lui.

În acest mod, de la un număr redus de centrale de putere mică existente înainte de 1948, dintre care numai cîteva erau legate prin linii electrice de înaltă tensiune, constituind ansambluri zonale, s-a ajuns la crearea unui sistem energetic național, pe care se bazează actualmente aproape întregul consum de energie electrică din țară.

Sistemul cuprinde numeroase centrale moderne termoelectrice și hidroelectrice de mare putere și o rețea dezvoltată de linii electrice aeriene cu tensiuni pînă la 400 kV.

Centralele termoelectrice, folosind cărbuni, gaze naturale și păcură, au fost echipate cu agregate cu puteri unitare din ce în ce mai mari, pînă la 315 MW, și cu parametri ai aburului foarte înalți, ceea ce a condus la o funcționare deosebit de economică. Concentrarea puterilor în centrale foarte mari, dintre care unele au atins sau vor atinge în viitorul apropiat 1000 MW, a permis reducerea cheltuielilor de investiție.

Dezvoltarea industriilor și a orașelor a condus nu numai la necesități importante de energie electrică, ci și de căldură.

Prin organizarea producției combinate a celor două forme de energie, în centrale de termoficare, s-a obținut o soluție care duce la o importantă economie de combustibil.

Construcțiile și instalațiile tehnice ale obiectivelor proiectate corespund cerințelor celor mai noi ale tehnicii, unele dintre ele prezentînd performanțe care se înscriu printre realizările remarcabile pe plan mondial.

Instalațiile sînt dotate cu un grad înalt de automatizare, iar unele centrale dispun de calculatoare electronice menite să asigure un optimum funcțional.

Construirea centralelor hidroelectrice se bazează pe ample studii de teren și laborator prealabile, care au permis inventarierea potențialului hidroenergetic al tuturor bazinelor țării noastre. Aceste rezultate au dus la stabilirea posibilităților tehnice și economice de amenajare hidroenergetică și la punerea în evidență a celei mai avantajoase ordini de execuție a centralelor hidroelectrice.

Din 1949 și pînă în prezent au intrat în funcțiune 19 centrale hidroelectrice, însumînd o putere instalată de circa 760 MW ; între acestea, lanțul de centrale hidroelectrice de pe Bistrița, marea hidrocentrală de pe Argeș și altele. Alte nouă centrale hidroelectrice proiectate de I.S.P.H., cu o putere instalată totală de 1615 MW, sînt în curs de execuție ; în rîndul acestora sistemul hidroenergetic și de navigație Porțile de Fier, pe care țara noastră îl construiește în comun cu R.S.F. Iugoslavia, va reprezenta, atît prin parametrii și performanțele sale cît și prin nivelul tehnic de proiectare și execuție al lucrărilor, una dintre cele mai remarcabile realizări ale hidroenergeticii mondiale.

Printr-un nivel tehnic deosebit de concepție se caracterizează și centrala hidroelectrică de pe Lotru, aflată în execuție.

În prezent, I.S.P.H. a elaborat şi documentaţiile de proiectare care vor permite atacarea în acest an şi în anii următori a unor noi lucrări hidroenergetice prevăzute de Directivele Congresului al IX-lea al Partidului, pe rîurile Someş, Sebeş, Olt, Argeş şi altele.

Centralele termoelectrice şi hidroelectrice sînt legate cu zonele de consum printr-o reţea dezvoltată de linii de înaltă tensiune şi staţii de transformare.

La realizarea acestor importante obiective energetice au adus o contribuţie hotărîtoare I.S.P.E. şi I.S.P.H.

Constituit dintr-un mic nucleu de specialişti de care se putea dispune în 1948, I.S.P.E. şi apoi I.S.P.H. s-au dezvoltat continuu, dispunînd de elemente tinere, absolvenţi ai institutelor noastre politehnice.

Pe baza pregătirii lor şi prin şcoala unei largi experienţe, datorită posibilităţii de a aplica cunoştinţele dobîndite la lucrări din ce în ce mai mari şi mai complexe, proiectanţii celor două institute au devenit capabili să soluţioneze probleme din ce în ce mai dificile.

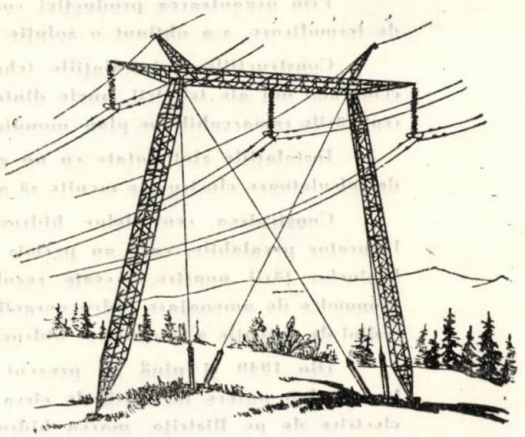
Ministerul Energiei Electrice a contribuit la această acţiune de formare a specialiştilor pe diferite căi : asigurarea unei vaste documentaţii prin cărţi şi periodice, burse în străinătate, participări la congrese internaţionale, stimulente aplicate la obţinerea de rezultate remarcabile, îndemnuri pentru obţinerea de titluri ştiinţifice etc.

Datorită acestui complex de măsuri, I.S.P.E. şi I.S.P.H., pe lîngă faptul că pot asigura documentaţiile necesare electrificării ţării, sînt în măsură să răspundă astăzi şi la proiecte pentru export, activitate prin care se dă un adevărat examen internaţional pentru elaborarea de soluţii competitive.

Toate aceste succese trebuie să fie însă numai premise pentru noi progrese.

Proiectarea trebuie să fie animată permanent de un dinamism care să ducă la soluţiile cele mai înaintate, susţinute pe temeinice studii şi cercetări. În vederea acestui scop, organizarea proiectării trebuie să se îndrepte pe căi care să asigure un grad cît mai înalt de informare şi de asimilare a metodelor celor mai noi de calcul şi dimensionare.

Conştienţi de importanţa directivelor de partid şi de stat, care cer să construim din ce în ce mai mult şi mai bine, proiectanţii I.S.P.E. şi I.S.P.H. vor şti să răspundă acestor sarcini şi în viitor, pentru realizarea programelor mari ce stau în faţa energeticii noastre.



Proiectarea energetică în perioada 1949–1969

Dr. ing. VASILE NITU
Dr. ing. FLORIN IORGULESCU

Acum 20 de ani, la 1 martie 1949, a fost înființat, în cadrul Ministerului Energiei Electrice și Industriei Electrotehnice, Institutul de Studii și Proiectări Energetice (I.S.P.E.), întreprindere de stat avînd ca sarcină elaborarea tuturor studiilor de teren, laborator și proiectelor pentru instalații energetice.

În 1958 fostul sector de studii al I.S.P.E. a devenit o organizație de sine stătătoare, denumită Întreprinderea de Cercetări și Studii Energetice (I.C.S.E.); în același timp, atelierele regionale ale I.S.P.E., care proiectau liniile și stațiile cu tensiuni pînă la 35 kV, au fost transferate la întreprinderile regionale de electricitate.

În 1963, prin unirea sectorului de proiectare pentru amenajări hidroelectrice din I.S.P.E. cu I.C.S.E., ia naștere Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice (I.S.P.H.).

Astfel, cele două institute existente în prezent acoperă activitatea de studii și proiectări energetice, după cum urmează:

— Institutul de Studii și Proiectări Energetice elaborează studii și proiecte pentru planul de electrificare, dezvoltarea sistemului energetic, centrale termoelectrice, linii și stații pentru tensiuni mai mari de 110 kV;

— Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice elaborează studii de teren și laborator pentru toate instalațiile energetice, studii și proiecte pentru centralele hidroelectrice.

Proiectele liniilor electrice și stațiilor pentru tensiuni pînă la 110 kV inclusiv se efectuează în întreprinderile locale de electricitate.

Sistemul energetic

Totalitatea realizărilor energetice, create pe baza proiectelor I.S.P.E. și I.S.P.H., constituie actualmente un ansamblu unitar, sistemul energetic prin care se furnizează cea mai mare parte a energiei electrice consumate în țară.

Sistemul energetic cuprinde centrale termoelectrice și hidroelectrice conectate prin rețele de înaltă tensiune, de 110, 220 și 400 kV (funcționînd deocamdată la tensiunea de 220kV) cu stații electrice pentru injectarea și ejectarea energiei electrice.

Dezvoltarea sistemului se face pe baza programelor de dezvoltare a necesităților de energie stabilite prin prognoze științifice și pe baza unor modele matematice pentru tratarea cărora se folosesc calculatoare electronice. Pe aceste căi se stabilesc valorile strategice, adică categoriile de centrale care trebuie realizate, și valorile tactice, adică elementele operative.

Sistemul este conceput și dezvoltat astfel ca să asigure un înalt grad de continuitate în serviciu, precum și furnizarea energiei electrice și a căldurii în condiții de optim economic.

Pentru coordonarea operativă a acestui complex tehnic servește Dispecerul energetic, la a cărui proiectare s-a urmărit dotarea cu cele mai corespunzătoare instalații de automatică și teletransmisiuni.

În planificarea dezvoltării sistemului energetic se pun actualmente cu precădere problemele instalării unor grupuri generatoare de putere unitară mare (200—300 MW) și a dezvoltării unei rețele puternice de transport de 220 și 400 kV.

Studiile care tratează aspecte complexe ale acestor categorii de probleme necesită larga utilizare a calculatoarelor cifrice, atît în stabilirea prognozei de consum și a rezervei de putere (prin analize statistico-probabilistice), cît și în examinarea regimurilor de funcționare a sistemului în ansamblul său, în vederea stabilirii celor mai eficiente măsuri pentru mărirea siguranței în funcționare și realizarea unor regimuri optime din punct de vedere economic.

Problema siguranței în funcționare se pune atît în faza de elaborare a schemelor de conexiuni primare (pornind de la probabilitatea de avariere a diferitelor echipamente componente), cît și în stabilirea principiilor de organizare a comenzii prin dispecer, a protecției prin relee și automatizărilor din rețeaua de transport și a protecției contra supratensiunilor interne și atmosferice în corelație cu nivelul de izolație avantajos din punct de vedere tehnico-economic.

Aceste principii rezultă din examinarea nivelelor de informații, necesare în conducerea sistemului la diverse trepte de dispecer, și din studiul detaliat al condițiilor de stabilitate statică și dinamică și al regimurilor tranzitorii ale sistemului electroenergetic în ansamblul său, în regimuri normale și de după avarie probabile.

Condițiile de realizare a optimului economic în funcționarea sistemului energetic au rezultat din studiile și proiectarea reglajului automat al frecvenței și puterii de schimb cu țările vecine, în corelație cu problema repartiției economice a sarcinii pe centrale.

În afara aspectelor economice, s-a studiat, în special pentru îmbunătățirea calității energiei, problema reglajului automat al tensiunii în rețeaua de transport.

Centralele termoelectrice

În cadrul electrificării țării, centralele termoelectrice au constituit sursa principală de producere a energiei electrice; de la o putere instalată totală de 680MW în 1950 — la începerea planului de electrificare — s-a ajuns în 1968 la circa 5 000 MW, cu un ritm de dublare a puterii instalate la fiecare șapte ani, exceptînd intervalul 1964—1968, în care dublarea s-a produs la patru ani.

Evoluția puterii instalate a centralelor termoelectrice:

	1950	1957	1964	1968
Puterea instalată (MW)	680	1340	2450	5000
Perioada de dublare (ani)	7	7	4	

Acest ritm înalt a impus proiectării să se axeze pe următoarele linii directoare principale:

— adoptarea de agregate de puterile cele mai mari permise de sistem, trecîndu-se treptat de la 20 MW inițial la agregate din ce în ce mai puternice, pînă la 300 MW, cea mai mare putere pe agregat instalat (la CET Craiova);

— concentrarea în centrale de puteri cît mai mari cu o evoluție de la centrale de maximum 100MW la centrale cu profil de 1000 MW și chiar mai mult;

Tabela 1

Evoluția termoficării

	ANUL				
	1950	*1960*	*1965*	*1967*	*1970*
Puterea instalată în centrale de termoficare, MW	127	472	1 203	1 734	2 410
Căldura livrată, 10^6 Gcal/an	1,8	8,5	20,5	29,1	35,0
Puterea unitară maximă și parametrii aburului grupurilor de termoficare : MW	4,5	25	50	100	150
at/°C	35/420	90/490	135/565	135/564	135/565
Lungimea rețelei de termoficare, km	—	12,2	220	350	450

— evoluția continuu ascendentă a parametrilor aburului de la 64 ata și 480°C la 140 ata și 550°C, cu supraîncălzire intermediară.

Urmărind aceste linii directoare, menite să asigure surse de energie cît mai economice și cu consum de combustibil cît mai redus, centralele au fost totodată concepute astfel ca să se obțină un grad înalt de continuitate și de durată de serviciu.

În aceste scopuri, schemele tehnologice au fost stabilite astfel încît să permită o funcționalitate corectă în orice împrejurare, fără să fie încărcate cu circuite cu legături și cu elemente a căror utilitate apare numai în cazuri cu totul excepționale, dar care aduc neajunsuri mai mari prin ancombrare și îngreunarea operativității, mai ales în cazuri de avarii.

Sistemul bloc cazan-turboagregat-transformator principal a devenit în ultimul timp, la centralele de condensație, soluția normală, cu tendințe de a cuprinde și serviciile proprii, precum și turnul de răcire.

Amplasarea agregatelor se face în mare parte în clădiri, dar s-a urmărit cu persistență procurarea de echipament care să permită montarea în aer liber spre a reduce volumul construit. Sălile de cazane se execută închise, dar frecvent s-a putut aplica soluția semideschis și uneori chiar soluția cu cazanul în aer liber, spațiile închise fiind limitate la partea de deservire și la unele instalații anexe.

De acest tip vor fi și cazanele-turn ce se vor executa în viitor în țară și prin care volumul de construcții se va reduce apreciabil.

Posibilitatea de montare în aer liber există și pentru o mare parte din echipamentul stațiilor de tratare chimică a apei de adaos, soluție care este totdeauna aplicată.

Dispoziția agregatelor în clădiri urmărește realizarea de legături tehnologice, termomecanice și electrice cît mai directe și cît mai scurte, precum și limitarea spațiilor de deservire, circulație, montaj etc. la valorile dovedite tehnic necesare sau impuse de prescripții de siguranță și protecție contra incendiilor.

În scopul limitării suprafețelor incintelor centralelor spre a evita risipa la scoaterea de terenuri din circuitul agricol, se urmărește comasarea clădirilor auxiliare, evitîndu-se regimul pavilionar; în felul acesta se realizează și o circulație mai ușoară între servicii și se reduce volumul construit.

Centralele termoelectrice necesită lucrări hidrotehnice importante, spre a se asigura apa de răcire în cantități mari la centralele de mare putere.

Sistemul mixt de răcire, în circuit deschis și în circuit închis, este aplicat la mai toate centralele proiectate, obținîndu-se condițiile cele mai economice pentru energia produsă. Sistemul mixt conduce însă, datorită și condițiilor hidraulice specifice ale rîurilor noastre, la un complex de lucrări constituit din: baraje, prize, aducțiuni, case de vane și site, turnuri de răcire și variate canale.

Gospodăriile de combustibil reprezintă și ele lucrări de mare amploare, mai ales la centralele alimentate cu cărbuni.

Ansamblul instalațiilor tehnologice ale diferitelor subansambluri ale centralei sînt automatizate în mare măsură, ceea ce conduce la un grad înalt de siguranță și la o funcționare economică.

De la conducerea descentralizată a exploatării, prin tablouri locale, s-a trecut la conducerea centralizată în camere de comandă, adoptîndu-se sistemul o cameră de comandă pentru două blocuri, iar în ultimul timp s-a făcut un pas mai departe prin introducerea calculatoarelor electronice.

Această soluție a fost aplicată la două centrale (Luduș și Craiova) în scopul tratării informațiilor din exploatare.

Echipamentele centralelor termoelectrice provin din import și din țară, cu o evoluție bine marcată pentru creșterea ponderei acestora din urmă.

La începutul activității I.S.P.E. se puteau procura din țară numai turboagregate de maximum 6 MW și unele tipuri de cazane de debit mic și cu parametri reduși. Industria constructoare de mașini a trecut apoi la fabricarea de cazane de 420 t/h și turboagregate de termoficare de 50 MW; în curs este asimilarea unităților de 300 MW.

Pentru partea electrică, gama de aparate și materiale fabricate în țară s-a lărgit continuu, în ultimul timp și cu aparate de automatizare.

La această dezvoltare a producției de echipament a contribuit și proiectarea, prin indicații și consultații legate de necesitățile și de evoluția sistemului energetic.

Rețeaua de termoficare

Dezvoltarea industriilor și a orașelor a condus la necesități importante nu numai de energie electrică, ci și de căldură.

Prin producerea combinată a celor două forme de energie, în centralele de termoficare se ajunge la o soluție care duce la randamente superioare, cu mari economii de combustibil.

De la începuturi modeste înainte de 1950, dezvoltarea termoficării a urmat o evoluție ascendentă, cum se arată în tabela 1.

Centralele hidroelectrice

Pe baza proiectelor întocmite de I.S.P.H. au fost executate și puse în funcțiune pînă în prezent 19 centrale hidroelectrice, totalizînd circa 760 MW putere instalată; alte 9 amenajări cu o putere instalată totală de 1615 MW sînt în curs de execuție. Institutul a întocmit de asemenea studii tehnico-economice pentru cele mai multe din centralele hidroelectrice a căror execuție și dare în funcțiune, conform Directivelor Congresului al IX-lea al P.C.R., urmează să aibă loc în 1971—1975 pe rîurile Sebeș, Someș, Olt, Argeș. Este în curs de elaborare, împreună cu organizațiile de proiectare ale R. P. Bulgaria, sarcina de proiectare a complexului hidrotehnic Islaz — Somovit pe Dunăre.

Principalii parametri energetici ai centralelor proiectate de I.S.P.H. sînt cei redați în tabela 2.

Trebuie amintit și faptul că, pe baza proiectelor I.S.P.H., au fost executate și puse în funcțiune barajele și acumulările Belci, Cinciș și Secu, canale, galerii și conducte de aducțiune, care fac parte din sistemele de alimentare cu apă ale centralelor industriale Borzești, Hunedoara și Reșița, precum și barajele de priză de la Paroșeni și Ișalnița (Craiova); sînt în curs de execuție barajele Bascov și Pitești pe Argeș, barajul și stația de pompare Trei Ape-Timiș și barajul Mintia pe Mureș, lucrări de asemenea destinate alimentărilor cu apă.

În cadrul amenajărilor hidroenergetice și hidrotehnice proiectate de I.S.P.H. au intrat în funcțiune pînă în prezent 22 baraje de tipuri și caracteristici variate; între acestea se pot aminti barajul de greutate Izvorul Muntelui pe Bistrița cu o înălțime de 127 m și un volum de 1 720 000 m³ beton, barajul în arc Vidraru pe rîul Argeș cu o înălțime de 166 m, barajul cu contraforți Secul și barajul de anrocamente Gozna de pe rîul Bîrzava, barajele de joasă cădere și digurile de pe Bistrița și Argeș-aval. Alte 13 baraje proiectate de I.S.P.H. sînt în curs de execuție; între acestea se detașează, din punctul de vedere al concepției tehnice și al caracteristicilor constructive, barajul de la Porțile de Fier, pe Dunăre, și barajul de anrocamente Vidra, pe Lotru. Un număr de alte baraje sînt în curs de proiectare.

Pe lîngă barajele și centralele amintite, au fost puse în funcțiune pînă în prezent aproape 70 km galerii hidrotehnice și peste 90 km canale de derivație, ale căror studii și proiecte se datoresc I.S.P.H. Numai la centrala hidroelectrică Lotru, aflată în curs de execuție, lungimea totală a galeriilor hidrotehnice este de circa 150 km.

Pe lîngă lucrările cu caracter hidroenergetic, Institutul a proiectat și uvraje și amenajări pentru alte folosințe ale apei, cum sînt ecluzele din cadrul SHEN Porțile de Fier — cu gabarite și performanțe record în

Tabela 2

Nr. crt.	Denumirea amenajării	Cursul de apă	Puterea instalată, MW	Producția medie de energie, mil. kWh/an	Anul intrării în funcțiune
1	Crăinicel	Bîrzava	8,7	30	1952
2	Moroeni	Ialomița	15	49	1953
3	Sadu V	Sadu	27	51	1955
4	„V.I. Lenin" Bicaz	Bistrița	210	392	1960
5	Pîngărați	Bistrița	23	57	1964
6	Vaduri	Bistrița	44	90	1966
7	Piatra Neamț	Bistrița	11	52	1964
8	Roznov I	Bistrița	14	60	1962
9	Roznov II	Bistrița	14	63	1963
10	Zănești	Bistrița	14	63	1964
11	Costișa	Bistrița	14	64	1964
12	Buhuși	Bistrița	11	50	1964
13	Racova	Bistrița	23	60	1965
14	Gîrleni	Bistrița	23	61	1965
15	Bacău I	Bistrița	23	56	1966
16	Bacău II	Bistrița	30	74	1966
17	„Gh. Gheorghiu-Dej"	Argeș	220	406	1966
18	Oești	Argeș	15	29	1967
19	Albești	Argeș	15	28	1967
20	Porțile de Fier	Dunărea	1050	5000	În construcție
21	Cerbureni	Argeș	15	30	În construcție
22	Valea Iașului	Argeș	15	29	În construcție
23	Vîlsan	Vîlsan	5	15	În construcție
24	Cumpănița	Cumpăna	5	15	În construcție
25	Paltinul	Doftana	10	30	În construcție
26	Ciunget	Lotru	500	900	În construcție
27	Bascov	Argeș	7,7	15	În construcție
28	Pitești	Argeș	7,7	20	În construcție
29	Mărișelu	Someș	220	390	În proiect
30	Tarnița	Someș	45	80	În proiect
31	Gîlceag	Sebeș	150	260	În proiect
32	Șugag	Sebeș	150	260	În proiect
33	Galbenu	Siret	35	110	În proiect
34	Răcăciuni	Siret	35	110	În proiect
35	Dăești	Olt	37	114	În proiect
36	Rm. Vîlcea	Olt	45	140	În proiect
37	Govora	Olt	45	146	În proiect
38	Bumbești	Jiu	80	320	În proiect

Europa —, stații de pompare în bazinul Lotru și Timiș, decantoare și denisipatoare de mari dimensiuni ș.a.

Una dintre activitățile de mare importanță ale I.S.P.H. o constituie și inventarierea resurselor hidroenergetice a tuturor bazinelor hidrografice ale țării, determinarea potențialului tehnic și economic amenajabil al R.S.R., scrierea uzinelor realizabile în funcție de caracteristicile tehnice și indicii economici, elaborarea ordinii de execuție celei mai eficiente și a propunerilor privind programele de dezvoltare a ramurii hidroenergetice.

Stațiile electrice

Constituie noduri ale sistemului electric care formează obiectul unei atenții deosebite, în special în ceea ce privește schema conexiunilor, sistemul constructiv și performanțele aparatelor.

De la proiectarea în 1950 a stațiilor cu tensiunea maximă de 35 kV s-a ajuns în 1960 la proiectarea de stații cu tensiunile cele mai înalte, de 220 și 400 kV.

La sfîrșitul anului 1968 exista următorul număr de stații după tensiunea cea mai înaltă:

185 de 110 kV
25 de 220 kV
1 de 400 kV

cu o putere totală de 10 700 MVA.

În unele cazuri se aplică schemele bloc, dar în cele mai multe cazuri s-au folosit scheme de conexiuni cu bare colectoare, simple, duble, cu sau fără bare de transfer, urmărindu-se: limitarea numărului transformatoarelor sau autotransformatoarelor la două unități pe stație, limitarea numărului de întreruptoare la unul pe circuit, anumite amplasări avantajoase ale întreruptoarelor de curent și tensiune.

Nivelele puterilor de scurtcircuit pentru care se dimensionează instalațiile și aparatele sînt stabilite pe baza dezvoltării actuale și de perspectivă a sistemului, fiind de 6000 MVA pentru 110 kV, 12 000 MVA pentru 220 kV și 20 000 MVA pentru 400 kV.

Echipamentul electric de înaltă tensiune pînă la 110 kV inclusiv se procură din țară din 1956, iar cel de 220 kV a început a fi fabricat din 1966; de echipamentul de 400 kV din țară se va putea dispune cu începere din anul 1970.

Liniile electrice de înaltă tensiune

Liniile electrice de înaltă tensiune au început să cunoască o rapidă dezvoltare o dată cu primul plan de electrificare.

De la 3 175 km de linii de 6—35 kV, 460 km de linii de 60 kV și 127 km de 110 kV existente în 1950, evoluția a urmat ritmul înalt arătat în tabela 3

Tabela 3

Lungimea liniilor de înaltă tensiune aeriene instalate la finele anilor, km

Anul	Tensiunea		
	6—35—60 kV	110 kV	220—400 kV
1960	16 483	2 812	—
1961	19 239	3 549	191
1962	24 089	4 025	191
1963	29 057	4 724	538
1964	33 061	4 996	635
1965	37 936	5 256	1 065
1966	39 531	5 546	1 643
1970	60 000	10 800	3 400
1975	84 000	15 000	6 000

Se proiectează în concepția de a realiza instalații cu un grad înalt de siguranță față de sarcinile și condițiile meteorologice la care sînt expuse; soluțiile urmăresc totodată realizări cît mai economice și cu reducere a oțelului. În acest scop, chiar din 1950, a fost folosit pe scară din ce în ce mai mare betonul armat pentru construcția stîlpilor. Actualmente, aceștia compun liniile cu tensiuni pînă la 110 kV, exceptînd stîlpii speciali pentru tensiunile de 35 și 110 kV, la care se folosesc stîlpi metalici. De asemenea stîlpii metalici sînt folosiți în mod exclusiv pentru tensiunile de 220 și 400 kV.

Toate aceste soluții au rezultat din studii tehnico-economice comparative.

Metode avansate în studii şi proiectare

I.S.P.E. şi I.S.P.H. îşi desfăşoară activitatea tehnică în cadrul directivelor de partid şi de stat şi al actelor normative ale Ministerului Energiei Electrice.

În limitele acestora se stabileşte concepţia şi se elaborează soluţiile diferitelor obiective care trebuie realizate, tinzîndu-se spre optimul tehnic şi economic.

Proiectanţii, pe baza specializării, pe care o dorim cît mai adîncită şi permanent la zi cu toate progresele, folosind în acest scop ca documentare rezultatele lucrărilor anterior executate şi informaţiile din literatura tehnică străină, îşi desfăşoară munca creatoare cu succese recunoscute.

Ei folosesc în acest scop atît metode clasice cît şi metode noi, proprii, inovate şi dezvoltate în cadrul institutului, unele dintre ele cunoscute şi în străinătate.

Proiectarea pe machete tridimensionale cu diferite scări, 1/25—1/100, este larg folosită prezentînd îndeosebi următoarele avantaje:

— creează o reprezentare spaţială sugestivă, care permite tehnologilor şi constructorilor să-şi coordoneze soluţiile;

— permite optimizarea soluţiilor de amplasare a echipamentului şi de stabilire a traseelor tehnologice în vederea reducerii spaţiilor ocupate la minimul necesar.

Nivelul tehnic al studiilor, cercetărilor şi proiectării hidroenergetice a crescut continuu în cei 20 de ani de activitate. Semnificativ în acest sens este faptul că, dacă, pentru primele centrale realizate în cadrul planului de electrificare: Moroeni, Sadu, Doiceşti, Paroşeni ş.a., a fost necesar să se recurgă în mare măsură la asistenţa tehnică din străinătate şi chiar la elaborarea unor proiecte şi părţi de proiecte de către organizaţii de proiectare de peste hotare, în ultimii ani cele două institute rezolvă cu succes la nivelul tehnicii contemporane probleme de o complexitate şi amploare considerabilă. În acest sens se pot menţiona studiile de teren şi laborator, soluţiile constructive şi tehnologice la barajul Vidraru — al patrulea din Europa ca înălţime —, soluţiile originale de excavare şi betonare a galeriilor hidrotehnice de mari dimensiuni în roci moi cu împingeri mari şi fenomene de umflare, problemele de concepţie şi execuţie a barajului de anrocamente de pe Lotru, coşurile de fum foarte înalte de la CET Craiova şi CTE Deva, linii electrice de foarte înaltă tensiune şi deschideri foarte mari etc.

Laboratoarele de cercetare a construcţiilor hidrotehnice şi materialelor de construcţii ale I.S.P.H. efectuează în prezent studii complete pe modele structurale răspunzînd tuturor cerinţelor tehnice contemporane ca modelare, gamă de mărimi măsurabile şi precizie, soluţii progresive în stabilirea reţetelor de betoane şi prescripţiilor de control al calităţilor fizico-mecanice şi de distribuţie, soluţii de hidroizolaţii, benzi PVC, acoperiri de bitum şi latex ş.a.m.d. Prin laboratorul de hidraulică aplicată s-au efectuat, între altele, studii complete pentru ecluze de mare cădere, descărcătoare şi disipatoare la baraje de diferite tipuri, studii pe modele de ansamblu, s-au obţinut rezultate remarcabile într-o serie de domenii teoretice, ca cel al scurgerii aerate la viteze mari, pulsaţiei presiunilor pe radiere etc.

O preocupare constantă a I.S.P.E. şi I.S.P.H. în ultimii ani o reprezintă asimilarea tehnicii de calcul moderne, soluţionarea operativă a problemelor de calcul uzuale sau cu volum mare de operaţii cu ajutorul maşinilor electronice de calcul sau de mare amploare. În această direcţie s-au obţinut rezultate valoroase în probleme cum sînt: calculul stabilităţii generale a barajelor din materiale locale cu structură eterogenă, determinarea stării de eforturi în baraje în arc, calcule de inundabilitate, mişcări nepermanente, colmatare, închiderea bilanţului hidrologic, calcule privind regimul de funcţionare a sistemului energetic, calcule adîncite ale structurii cu multe variante pentru determinarea soluţiei optime, proiectarea stîlpilor liniilor electrice, conductelor tehnologice de abur şi apă la înaltă presiune şi temperatură etc. În mod curent se elaborează cu ajutorul calculatoarelor electronice planurile de exploatare energetică şi complexă a centralelor hidroelectrice şi termoelectrice, optimizarea reţelelor de aducţiuni secundare la centrale hidro, prelucrarea datelor hidrologice şi altele.

Preocupările actuale şi de viitor ale I.S.P.E. şi I.S.P.H. se axează pe elaborarea unor soluţii de amenajare constructive şi de echipamente cît mai eficiente din punct de vedere funcţional, economic şi ca tehnologie de execuţie şi durată de realizare, la nivelul tehnicii celei mai înaintate.

★

Douăzeci de ani de activitate reprezintă o durată scurtă calendaristic, dar, după cum rezultă din expunerea precedentă, în proiectarea energetică reprezintă o perioadă bogată de realizări prin muncă intensă a corpului de proiectanţi ai celor două institute — I.S.P.E şi I.S.P.H.

Ea cuprinde începutul, cu inevitabilele căutări şi oscilaţii de organizare, de concepţii şi de soluţii, urmată apoi repede de o maturizare, care permite astăzi partidului şi guvernului să încredinţeze celor două institute realizarea de investiţii de foarte mare valoare, aplicînd soluţii pentru prima dată folosite şi dintre care unele reprezintă performanţe mondiale.

Conştienţi de răspunderea lor, proiectanţii vor face şi în viitor toate eforturile spre a corespunde misiunii ce li s-a încredinţat.

Elemente caracteristice ale dezvoltării electrificării României în perioada 1950-1970

Dr. ing. **E. Constantinescu,** ing. **L. Groza,** ing. **G. Manolescu,** ing. **S. Bogdan,** ing. **A. Sevastru,** ing. **N. Mişu** şi ing. **E. Costin**

În perioada 1950—1970, dezvoltarea electrificării României s-a făcut pe baza elaborării unui număr considerabil de studii energetice privind evoluţia, într-o perspectivă apropiată sau într-o perspectivă mai largă, a consumului de energie electrică şi a curbelor de sarcină, a centralelor electrice de diferite tipuri, precum şi a reţelelor electrice de înaltă şi foarte înaltă tensiune sau de distribuţie. Aceste studii, întocmite în special în cadrul Institutului de studii şi proiectări energetice (ISPE) şi Institutului de studii şi proiectări hidroenergetice (ISPH), au servit la elaborarea propunerilor privind planul general de perspectivă de electrificare a ţării şi la luarea unor hotărîri privind stabilirea direcţiilor principale de dezvoltare a ramurii energici electrice.

Prevederile acestor studii, realizările concrete obţinute, precum şi elementele caracteristice ce au rezultat pentru electrificarea ţării pe perioada 1950—1970 se prezintă mai jos împreună cu o succintă privire asupra tendinţelor de dezvoltare după 1970.

Consumul de putere şi energie electrică

Evoluţia consumului intern de energie electrică în România, care creşte în cei 20 de ani (1950—1970)

de la 2,1 TWh/an pînă la circa 33,0 TWh/an, deci de circa 16 ori, ceea ce corespunde unui ritm mediu anual de creştere de circa 14,8% (rezultă o perioadă de dublare de aproximativ 5 ani), este prezentată grafic în figura 1, împreună cu evoluţia producţiei de energie electrică. În acelaşi grafic este figurată, de asemenea, dezvoltarea puterii de vîrf solicitată în sistemul energetic naţional (sau în sistemele regionale existente înainte de 1958).

Prin dezvoltarea bazei energetice şi accentuarea ponderii consumului de energie electrică în balanţa energetică a ţării, a fost obţinută o foarte importantă sporire a consumului de energie electrică pe locuitor şi an, aşa cum se constată din tabela 1.

Tabela 1

Anul	1950	1955	1960	1965	1970
Consum pe locuitor (kWh/loc.an)	128	249	414	887	1 670
Ritm mediu anual de creştere (%)	—	15,5	12,1	17,2	14,5
Perioadă de dublare pe cincinal (ani)	—	4,81	6,07	4,39	5,12

În acest mod, consumul pe locuitor din România se apropie în mod continuu de consumul specific mediu din Europa, ajungînd în 1965 la 42,7% din acesta. Pe cincinale, ritmul de creştere mediu anual al consumului de energie electrică (tabela 1), deşi prezintă anumite fluctuaţii, se menţine la un nivel deosebit de ridicat, fapt confirmat de perioadele de dublare a consumului, care nu au depăşit 6 ani în perioada analizată.

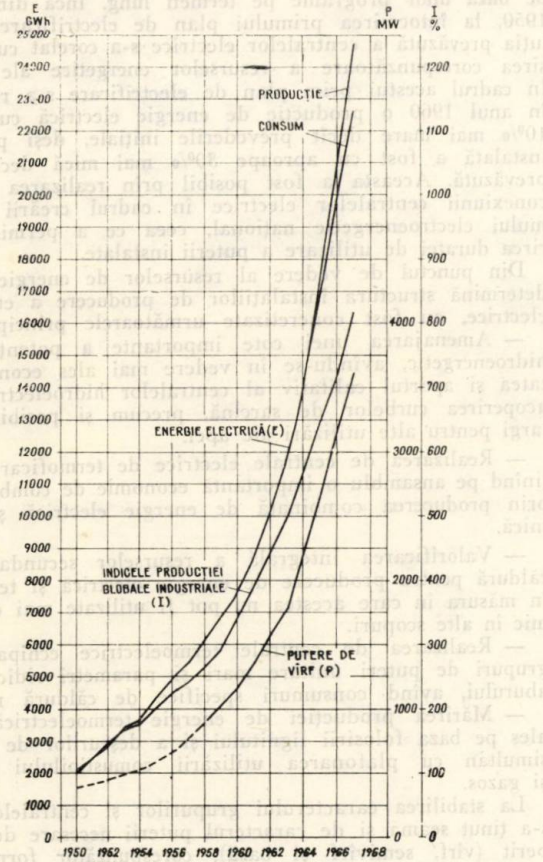


Fig. 1. Dinamica consumului de energie electrică, puterii de vîrf şi indicelui producţiei industriale în perioada 1950—1967.

Modificările structurale importante, care au caracterizat economia naţională a României în aceşti 20 ani şi care se leagă nemijlocit de avîntul puternic al dezvoltării electroenergeticii, au atras după sine unele deplasări semnificative şi în structura consumului de energie electrică. Acestea s-au evidenţiat atît prin creşterea importantă a consumului industrial, în special pe seama apariţiei unor noi ramuri industriale cu înaltă tehnicitate şi mare capacitate electroenergetică (instalaţii de electrochimie, electroliză etc.), cît şi prin sporirea consumului casnic şi comunal prin extinderea şi adîncirea electrificării în toate zonele ţării.

O dată cu creşterea importantă a consumului de energie electrică, activitatea de raţionalizare a acestui consum s-a evidenţiat printr-o tot mai bună utilizare a capacităţilor de producţie existente, concretizată prin sporirea în limite raţionale a duratei de utilizare a puterii de vîrf, care în 1960 a fost de 6040 ore/an, în 1965 de 6250 ore/an, iar în 1970 se prelimină că va ajunge la aproximativ 6050 ore/an. Curbele sarcinilor electrice au căpătat un aspect tot mai aplatisat şi prin apariţia unor consumuri suplimentare de noapte, raportul între gol şi vîrf la curba zilei medii de lucru din luna decembrie (luna cea mai încărcată) trecînd de la 0,68 în 1959 la circa 0,800 în 1965. Analizele de regresie ale valorii coeficienţilor de umplere ai curbelor zilnice medii au arătat, de asemenea, în perioada 1959—1965 o tendinţă constantă de creştere a acestor coeficienţi în toate lunile anului, aşa cum se observă şi din figura 2.

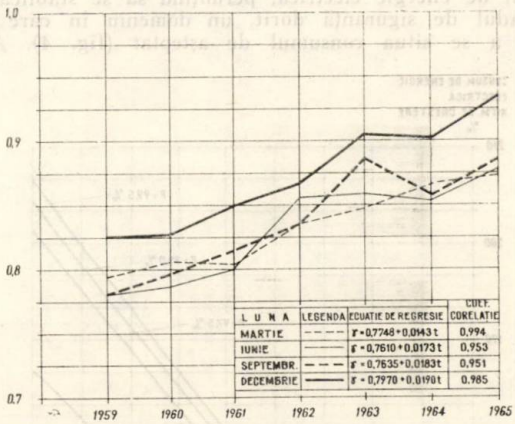


Fig.2. Curbe de tendinţă pentru coeficientul de umplere în zi medie de lucru lunară.

Curba puterilor maxime lunare solicitate din sistem s-a prezentat în perioada care începe de la formarea sistemului energetic naţional (1959) sub o formă relativ stabilă, care urmăreşte în mod caracteristic variaţiile climaterice cu perioadă anuală (fig. 3).

Întreg complexul de realizări legat de situaţia energetică actuală reprezintă mărturia unei activităţi continue de analiză multilaterală şi de preliminare a evoluţiei caracteristicilor consumului de putere şi energie electrică. Această activitate, dezvoltată şi adîncită în paralel cu evoluţia sistemului electroenergetic, a necesitat utilizarea unor metode şi mijloace tot mai ample, ajungînd pînă la metodele econometrice bazate pe calcule statistice şi probabilistice. În această perioadă scurtă au fost folosite de altfel, pentru prima oară, pentru prognoze maşini de prelucrare statistică a informaţiilor şi calculatoare digitale. Dintre metodele moderne utilizate, cele mai multe au fost elaborate în cadrul ISPE şi sînt folosite în prezent cu succes în activitatea de prognoză a situaţiei viitoare. Este de reţinut în acest context metoda corelării consumului de energie electrică cu indicele producţiei globale industriale, metodă care şi-a găsit aplicaţie în practica ţării noastre, ca şi în alte

țări. În concordanță cu datele statistice extrase pentru un mare număr de țări, această metodă stabilește legătura corelativă dintre variațiile indicelui producției glo-

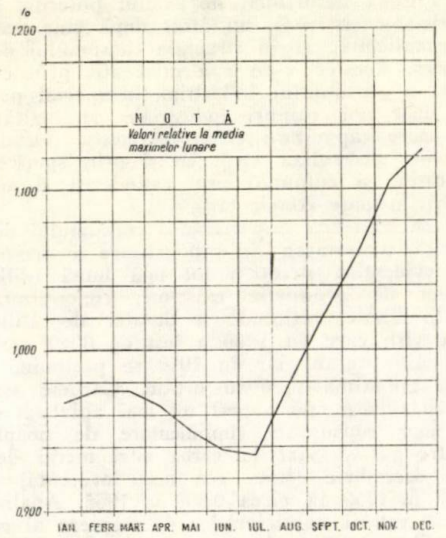


Fig. 3. Curba puterilor maxime lunare intern interconectat.

bale industriale și variațiile ritmului de creștere a consumului de energie electrică, permițînd să se stabilească, cu gradul de siguranță dorit, un domeniu în care urmează a se situa consumul de așteptat (fig. 4). Ale-

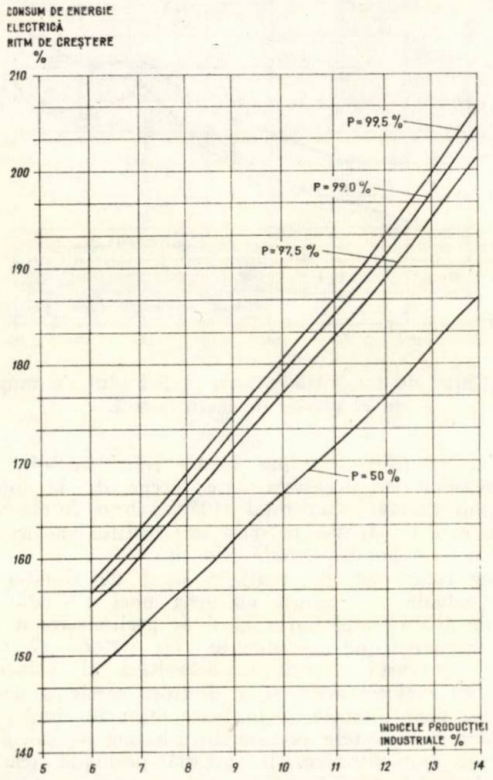


Fig. 4. Ritmul de creștere a consumului de energie electrică în corelație cu indicele mediu anual al producției industriale. Creșterea în perioada de cinci ani.

gerea practică a gradului de siguranță de calcul, care determină mărimea intervalului confidențial, are loc în funcție de scopul prognozei: de planificare a producției energiei electrice, sau pentru orientarea dimensionării instalațiilor sistemului electroenergetic. Studiile elaborate au arătat că în cazul prognozei de dimensionare este oportună alegerea unui grad ridicat de siguranță, de ordinul a 99%, în timp ce în cazul prognozei de plan este utilă adoptarea unui grad de siguranță de 50%, plecînd de la aceeași ecuație de regresie liniară între variabila factorială, reprezentată prin indicele producției industriale *I*, și variabila rezultativă, adică ritmul de creștere al consumului de energie electrică *E*. Relația utilizată în prezent pe baza datelor statistice acumulate este:

$$E = 4{,}341 + 0{,}643\ I.$$

Această metodă prezintă avantaje deosebite în țările cu economie planificată, în care prin plan se stabilește o valoare de perspectivă a indicelui producției industriale, corelabilă cu ușurință cu consumul de energie electrică.

Metoda descrisă, ca și o serie de alte modalități de prelucrare și interpretare a informațiilor aflate la dispoziție au fost folosite și la orientarea generală în legătură cu perspectivele dezvoltării energiei electrice în România în următoarea etapă, după 1970.

Dezvoltarea instalațiilor de producere a energiei electrice

Pentru acoperirea creșterilor consumului de putere și energie electrică, a fost necesară asigurarea unei dezvoltări corespunzătoare a instalațiilor de producere a energiei electrice. Urmărindu-se o politică energetică unitară, în vederea utilizării cît mai raționale a resurselor energetice ale țării, dezvoltarea centralelor electrice s-a făcut pe baza unor programe pe termen lung. Încă din anul 1950, la întocmirea primului plan de electrificare, evoluția prevăzută a centralelor electrice s-a corelat cu folosirea corespunzătoare a resurselor energetice ale țării. În cadrul acestui prim plan de electrificare s-a realizat în anul 1960 o producție de energie electrică cu circa 10% mai mare decît prevederile inițiale, deși puterea instalată a fost cu aproape 30% mai mică decît cea prevăzută. Aceasta a fost posibil prin realizarea interconexiunii centralelor electrice în cadrul creării sistemului electroenergetic național, ceea ce a permis mărirea duratei de utilizare a puterii instalate.

Din punctul de vedere al resurselor de energie, care determină structura instalațiilor de producere a energiei electrice, au fost concretizate următoarele principii:

— Amenajarea unei cote importante a potențialului hidroenergetic, avîndu-se în vedere mai ales economicitatea și aportul calitativ al centralelor hidroelectrice în acoperirea curbelor de sarcină, precum și posibilitățile largi pentru alte utilizări ale apei.

— Realizarea de centrale electrice de termoficare, obținînd pe ansamblu o importantă economie de combustibil prin producerea combinată de energie electrică și termică.

— Valorificarea integrală a resurselor secundare de căldură pentru producere de energie electrică și termică, în măsura în care acestea nu pot fi utilizate mai economic în alte scopuri.

— Realizarea de centrale termoelectrice echipate cu grupuri de puteri unitare mari și parametri ridicați ai aburului, avînd consumuri specifice de căldură reduse.

— Mărirea producției de energie termoelectrică mai ales pe baza folosirii lignitului și a deșeurilor de huilă, simultan cu plafonarea utilizării comustibilului lichid și gazos.

La stabilirea caracterului grupurilor și centralelor noi s-a ținut seama și de caracterul puterii necesare de acoperit (vîrf, semivîrf și bază), corespunzător formei și evoluției curbelor de sarcină. Planificarea puterilor noi de instalat s-a făcut astfel încît să se asigure în mod corespunzător puterile de vîrf cerute și puterea de rezervă necesară.

Urmărind liniile directoare arătate, dezvoltarea puterii instalate şi a structurii centralelor electrice s-a realizat astfel cum se prezintă în graficul din figura 5 şi în tabela 2.

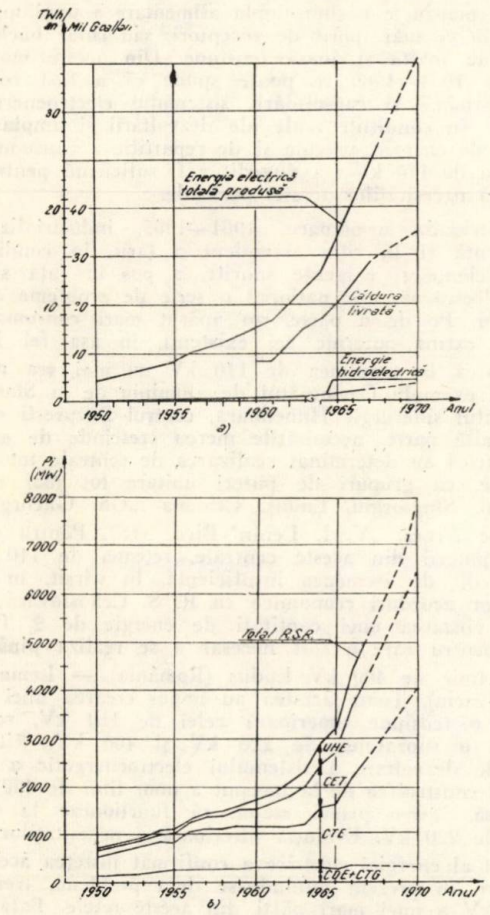


Fig.5.

a — evoluţia producţiei de energie electrică şi a căldurii livrate în termoficare din R. S. România;
b — evoluţia puterii instalate şi a structurii centralelor din R. S. România

Tabela 2

Evoluţia puterii instalate şi a structurii centralelor electrice în perioada 1950—1970

(Puteri instalate, în MW)

	1950	1955	1960	1965	1970 (preliminat)
Total putere instalată	740	1220	1779	3258	7570
Centrale hidroelectrice	60	100	210	461	1036
Centrale termoelectrice	680	1120	1569	2797	6534
— CTE	392	679	827	1333	3763
— CET	127	145	399	1145	2410
— CDE	151	286	333	309	243
— CTG	10	10	10	10	118

Puterea instalată a centralelor electrice creşte de peste 10 ori în perioada de 20 de ani (1950—1970), adică de la 740 MW în 1950 la aproximativ 7600 MW în 1970. Centralele hidroelectrice îşi măresc puterea instalată de peste 17 ori, şi anume de la 60 MW la 1050 MW, iar centralele termoelectrice de aproape 10 ori, şi anume de la 680 MW la circa 6550 MW. Ponderea centralelor hidroelectrice, ca putere instalată, creşte astfel de la 8,1% în 1950 la aproximativ 14% în 1970.

Dezvoltarea centralelor hidroelectrice s-a făcut într-un ritm din ce în ce mai rapid, urmărindu-se în special realizarea de centrale hidroelectrice care să aibă posibilitatea acoperirii zonei de vîrf a curbelor de sarcină, dispunînd de lacuri de acumulare importante pentru regularizarea debitelor, sau fiind amplasate în cascadă în aval de astfel de acumulări. În acest sens s-a realizat amenajarea hidroelectrică a rîului Bistriţa, de la Bicaz pînă la confluenţa cu rîul Siret (13 centrale hidroelectrice, totalizînd o putere instalată de 454 MW), începînd în amonte cu centrala hidroelectrică „V. I. Lenin"-Bicaz, care dispune de un lac de acumulare cu regularizare supraanuală a debitelor. De asemenea, se execută amenajarea rîului Argeş, practic de la formarea acestui curs de apă pînă aval de Piteşti, fiind puse în funcţiune pînă în prezent Centrala hidroelectrică „Gh. Gheorghiu-Dej"-Argeş (220 MW), care dispune de o acumulare importantă, precum şi centralele de pe sectorul din aval pînă aproape de Curtea de Argeş. În curs de construcţie se găseşte centrala hidroelectrică de pe rîul Lotru (500 MW), prevăzută să fie pusă în funcţiune după 1970, care constituie cea mai importantă amenajare de pe rîurile interioare ale României.

Pentru punerea în valoare a resurselor Dunării s-a trecut la realizarea Sistemului hidroenergetic şi de navigaţie Porţile de Fier (1050 MW partea R.S.R.), cu punerea în funcţiune prevăzută în 1970—1971, care va contribui cu o cotă importantă la acoperirea necesităţilor de putere şi energie electrică ale sistemului nostru electroenergetic.

În dezvoltarea instalaţiilor termoenergetice, o primă etapă a constituit-o intrarea în funcţiune în anii 1952—1954 a unor centrale cu grupuri de puteri unitare de 20—25 MW şi parametri medii ai aburului, ca, de exemplu, CTE Doiceşti, echipată cu şase grupuri de 20 MW, cu 64 ata şi 480°C. În anii următori, 1954—1956, au intrat în funcţiune grupuri cu puteri mai mari şi parametri mai ridicaţi (100 ata şi 510°C), cu preîncălzire regenerativă a apei de alimentare la 215°C şi necesitînd instalaţii moderne pentru prepararea apei. Astfel sînt centralele de la Sîngeorgiu, Paroşeni şi Borzeşti, echipate cu grupuri de 25 MW şi 50 MW şi cazane pentru debite de 170 şi 230 t/h. Centrala Borzeşti este şi prima centrală importantă de termoficare industrială şi urbană din ţară. În continuare s-a trecut la realizarea de centrale termoelectrice echipate cu grupuri de mare putere şi cu parametri înalţi ai aburului (140 ata şi 570°C). În 1963 se pune în funcţiune primul grup de 100 MW la CTE Luduş, în 1964 un grup de 150 MW la CTE Paroşeni, în 1966 primul grup de 200 MW la CTE Luduş şi în 1967 primul grup de 315 MW la CET Craiova. Luînd în considerare o grupare a puterilor instalate după mărimea puterii unitare a grupurilor, rezultă că, faţă de anul 1950, cînd puterea instalată în grupuri mai mici de 10 MW reprezenta 86% din total, în 1960 ponderea grupurilor mici a scăzut la 50%, iar în 1970 va fi de numai 15%. În schimb, ponderea grupurilor cu puteri unitare de 100 MW şi mai mare creşte de la 17% în 1965 la aproximativ 45% în 1970.

În centrale termoelectrice, o cotă de aproape 2500 MW se instalează pe cărbune (lignit şi huilă energetică), cele mai importante fiind: CTE Paroşeni (300 MW), CET Craiova (980 MW), CTE Deva (800 MW). Dintre centratele termoelectrice utilizînd combustibil gazos sau lichid se menţionează: CTE Luduş (800 MW), CTE Sîngiorgiu (250 MW), precum şi centralele electrice de termoficare Borzeşti (235 MW şi extinderea cu 400 MW

în condensație), Brazi (200 MW și extinderea cu 400 MW în condensație) și București-Sud (300 MW). Din centralele de termoficare s-a livrat energie termică totalizînd 8,5 mil. Gcal în 1960, 20,5 mil. Gcal în 1965 și se prelimină 35 mil. Gcal pentru anul 1970.

Creșterea ponderii grupurilor termoenergetice moderne, cu parametri înalți ai aburului, de puteri unitare mari și cu randamente ridicate, precum și utilizarea pe o scară din ce în ce mai largă a termoficării au condus la o scădere accentuată a consumului specific de combustibil pentru producerea energiei electrice pe ansamblul centralelor termoelectrice și de termoficare. De la un consum specific de 721 gc.c./kWh în 1950 s-a ajuns la 502 g c.c./kWh în 1960, la 407 g c.c./kWh în 1965 și se prelimină pentru anul 1970 un consum specific de 338 g c.c./kWh.

În ultima perioadă, examinările necesar a fi făcute în legătură cu dezvoltarea centralelor electrice au căpătat un caracter din ce în ce mai complex. Pentru analizarea și găsirea soluțiilor optime s-a recurs la metode matematice moderne, elaborîndu-se de către ISPE un model de programare liniară pentru previziunea dezvoltării centralelor electrice. Modelul permite ca, pe baza informațiilor referitoare la datele energetice și la datele tehnico-economice ale centralelor electrice existente și a proiectelor posibile de centrale, să se stabilească valorile necunoscutelor strategice (care din categoriile de centrale posibile trebuie realizate) și ale necunoscutelor tactice (cum trebuie să funcționeze categoriile de centrale existente și noi). Asemenea calcule au fost făcute pentru prima oară în cursul anului 1968, utilizînd calculatorul ICT-1905, în legătură cu examinarea perioadelor de perspectivă (1975 și 1980).

Dezvoltarea rețelelor electrice

În 1950 exista o singură linie de 110 kV în țara noastră, și anume linia Dobrești — București, de 127 km. Restul rețelelor erau de tensiuni inferioare, cu o mare varietate (60, 30, 22, 10, 6, 3, 1 kV) și dezvoltate local sau cel mult zonal. Acestea erau condițiile în care urmau să se realizeze primele lucrări de rețele din planul de electrificare, lucrări necesitate cu mare urgență pentru alimentarea cu energie electrică a primilor consumatori apăruți și al căror profil trebuia să se încadreze într-un plan de largă perspectivă.

Una dintre problemele decenalului (1951—1960) care a stat la baza realizării primelor rețele a constituit-o stabilirea treptelor de tensiuni normalizate pentru valorile de 110, 35, 15, 10 și 6 kV. În aceste împrejurări au apărut primele instalații de înaltă tensiune din cadrul planului decenal de electrificare, obiectivul general fiind închegarea unor sisteme electroenergetice regionale. Se poate spune că în principal această sarcină a fost realizată, în intervalul 1950—1954 conturîndu-se aceste sisteme în șase entități distincte, și anume Muntenia, Transilvania centrală, Transilvania de sud-vest, Transilvania de nord-vest, Oltenia, Moldova și Dobrogea, corespunzător unei zonificări geografice necesare organizării energetice a țării.

Industrializarea din ce în ce mai intensă a țării a impus sarcini din ce în ce mai mari și pentru rețelele electrice. Aceasta a condus, pe de o parte, la dezvoltarea și consolidarea celor șase sisteme regionale și, pe de altă parte, la apariția primelor legături de interconexiune între aceste sisteme, în vederea îmbunătățirii condițiilor de funcționare a centralelor și de alimentare a consumatorilor. Prin realizarea în 1960 a legăturii Chișcani — Gura Ialomiței — Medgidia s-a racordat la sistemul electroenergetic național ultimul sistem izolat pînă atunci al Dobrogei. Concomitent au început să crească exigențele în ceea ce privește calitatea energiei livrate. Aceasta s-a datorit, pe de o parte, consumatorilor casnici și edilitari, care, ca urmare a creșterii nivelului de trai, s-au dezvoltat permanent, devenind o categorie aparte cu un profil propriu. Pe de altă parte, apar în aceeași perioadă ramuri consumatoare noi (de exemplu petrochimia), sau se extind puternic cele existente (de exemplu industriile siderurgică, petrolieră), care, introducînd procese tehnologice moderne, impun anumite condiții energiei electrice livrate, în special în ceea ce privește continuitatea în alimentare. Toate aceste noi exigențe au determinat realizarea unor legături suplimentare pentru a asigura dubla alimentare a unui număr din ce în ce mai sporit de receptori, sau chiar buclarea rețelei de înaltă și joasă tensiune. Din aceste motive, perioada 1954—1960 se poate spune că a fost consacrată formării și consolidării sistemului electroenergetic național. În condițiile reale ale dezvoltării și amplasării surselor de energie, precum și de repartiție a consumului, tensiunea de 110 kV s-a dovedit a fi suficientă pentru a face față necesităților acestei perioade.

În perioada următoare, 1961—1965, industrializarea permanentă și în ritm ascendent a țării, în condițiile unei eficiențe și exigențe sporite, a pus în fața sistemului electroenergetic național o serie de probleme calitativ noi. Pe de o parte, au apărut mari consumatori și s-au extins puternic cei existenți, în așa fel încît alimentarea la tensiunea de 110 kV nu mai era posibilă (de exemplu Combinatul de aluminiu de la Slatina, Combinatul siderurgic Hunedoara, centrul București etc.). Pe de altă parte, necesitățile mereu crescînde de energie electrică au determinat realizarea de centrale tot mai puternice, cu grupuri de puteri unitare tot mai mari (Paroșeni, Sîngiorgiu, Luduș, Craiova, „Gh. Gheorghiu-Dej", pe Argeș, „V. I. Lenin"-Bicaz etc.). Pentru evacuarea puterii din aceste centrale, rețeaua de 110 kV s-a dovedit de asemenea insuficientă. În sfîrșit, în cadrul unor acorduri economice cu R. S. Cehoslovacă s-a stabilit vînzarea unei cantități de energie de 2 TWh anual, pentru care a fost necesar a se realiza pînă în 1965 o linie de 400 kV Luduș (România) — Lemeșani (Cehoslovacia). Toate acestea au impus crearea unei rețele la o tensiune superioară celei de 110 kV, realizîndu-se o suprarețea de 220 kV și 400 kV. Ritmul intens de dezvoltare a sistemului electroenergetic a determinat construirea de la început a unor linii de 400 kV, care însă, într-o primă etapă, să funcționeze la tensiunea de 220 kV. Evoluția ulterioară a necesităților de transport al energiei electrice a confirmat justețea acestor prevederi, în prezent punîndu-se deja problema trecerii la 400 kV a unei mari părți din aceste rețele. Față de prima linie de 220 kV realizată în 1961 (Bicaz — Sîngiorgiu — Luduș), la finele anului 1965 existau 685 km de linii de 220 kV și 380 km de linii de 400 kV (parte funcționînd la 220 kV).

Schimbări structurale au apărut în această perioadă și în ceea ce privește rețelele de 110 kV și mai jos. Astfel, apariția unor consumatori importanți în tot mai multe puncte de pe teritoriul țării, ca și fabricarea în țară integral a echipamentelor pînă la 110 kV inclusiv, în condiții de permanent progres tehnic, au determinat o extindere substanțială a rețelelor de 110 kV. Această dezvoltare s-a făcut chiar preferențial, în defavoarea rețelelor de 35 kV, datorită faptului că, în condiții economice apropiate, rețeaua de 110 kV prezintă capacități de transport mult mărite față de cea de 35 kV. În acest fel, rețeaua de 110 kV a început să capete caracter de rețea de distribuție, înregistrîndu-se o stagnare a dezvoltării rețelei de 35 kV în această perioadă. Astfel, în timp ce la finele anului 1960 rețeaua de 110 kV era în lungime de 2815 km, iar cea de 30—35 kV de 2570 km, la finele anului 1965 rețeaua de 110 kV însuma 5266 km, prezentînd o creștere de 87% față de 1960, în timp ce rețeaua de 30—35 kV a crescut numai cu circa 28%.

Schimbări de aceeași natură s-au petrecut și în ceea ce privește rețelele de distribuție de medie tensiune. Astfel, în prima etapă de 10 ani, pentru electrificarea rurală și alimentarea micilor centre urbane, tensiunea de 15 kV s-a dovedit a fi încă suficientă. Ulterior însă, dezvoltarea intensă a electrificării rurale a scos în evidență

necesitatea unei tensiuni mărite, cu performanțe ridicate. În acest sens s-a adoptat valoarea de 20 kV, noile rețele realizîndu-se deja pentru această tensiune nominală. Mai mult chiar, pentru a se mări eficacitatea acestei măsuri a rezultat oportună trecerea treptată la 20 kV, în ritmul necesităților, a rețelelor de 15 kV existente. De altfel, extinderea tensiunii de 20 kV a oferit posibilitatea unor transformări directe mai economice de la tensiunea de 110 kV la 20 kV, eliminînd astfel dubla transformare 110/35 kV și 35/15 kV și contribuind, de asemenea, la restrîngerea utilizării tensiunii de 35 kV.

Etapa actuală, 1966—1970, este caracterizată printr-o creștere tot mai mare a necesităților de energie electrică, ceea ce impune ca, în programul mereu sporit al lucrărilor în rețele, liniile de înaltă tensiune de 220 și 400 kV să ocupe o pondere din ce în ce mai mare. Volumul important al acestor lucrări, ca și costul relativ ridicat au impus o exigență sporită în determinarea soluțiilor optime pentru structura topologică a rețelelor respective. Întreaga politică de dezvoltare a sistemului electroenergetic a avut, în consecință, la bază numeroase studii, analize și calcule. Acestea toate au permis să se poată formula anumite principii de organizare și de proiectare a sistemelor, din care mai importante sînt următoarele :

— Utilizarea treptelor de tensiune normalizate și pe cît posibil eliminarea unor tensiuni intermediare, prin folosirea transformărilor directe, prin pătrunderea tensiunii înalte cît mai aproape de consumator.

— Încadrarea tuturor lucrărilor într-un plan de largă perspectivă (10—15 ani), și îndeosebi a lucrărilor de 220 kV și 400 kV.

— În condiții de echivalență economică, preferarea instalațiilor de tensiune mai înaltă în locul celor de tensiune inferioară, ca și a variantelor în care direcția liniilor de înaltă tensiune este orientată pe trasee diferite pentru alimentarea zonelor consumatoare.

— Liniile electrice de înaltă și foarte înaltă tensiune să poată evacua întreaga putere a centralelor (inclusiv

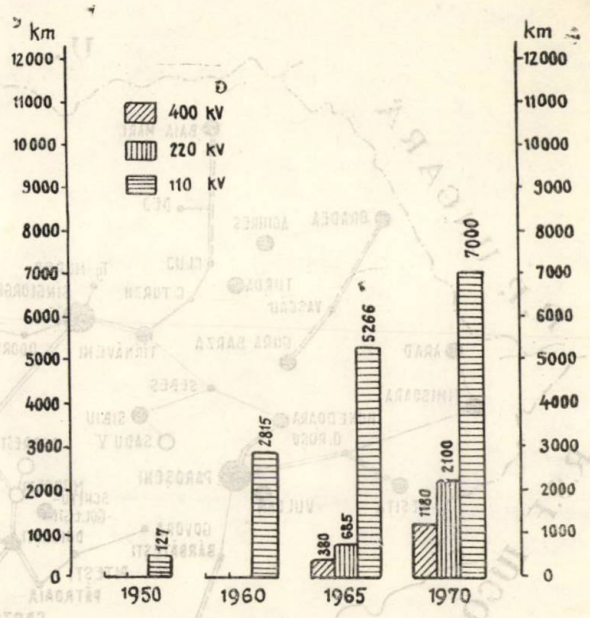


Fig.6. Dezvoltarea liniilor electrice de 400, 220 și 110 kV în R.S. România, în anii 1950, 1960, 1965, 1970.

suprasarcina admisă de lungă durată) chiar la avaria arterei celei mai încărcate sau a ambelor circuite cînd linia este construită pentru dublu circuit.

— Asigurarea continuității în alimentarea integrală a consumatorilor pentru următoarele cazuri : avarie simplă, indiferent de locul unde se produce, avaria celui mai mare grup din zona receptoare, suprapusă fie peste

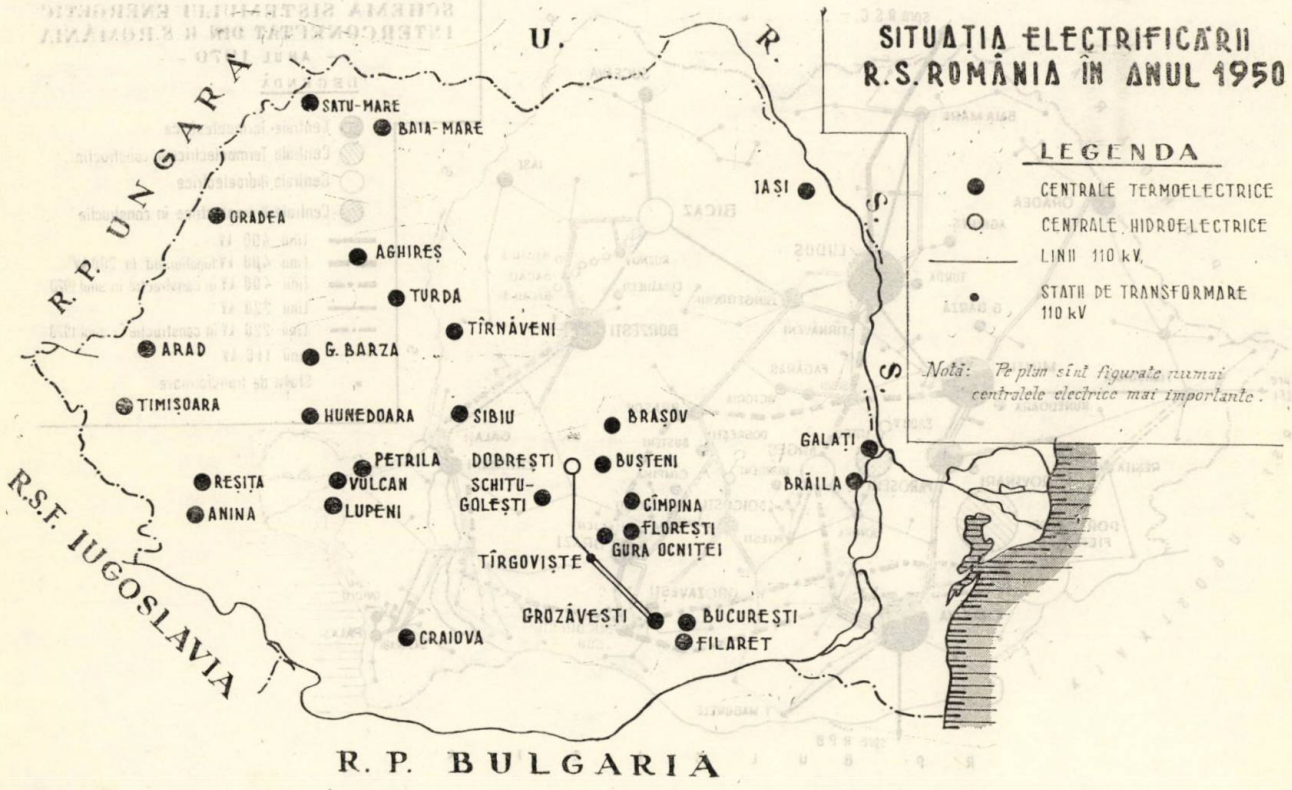


Fig. 7.

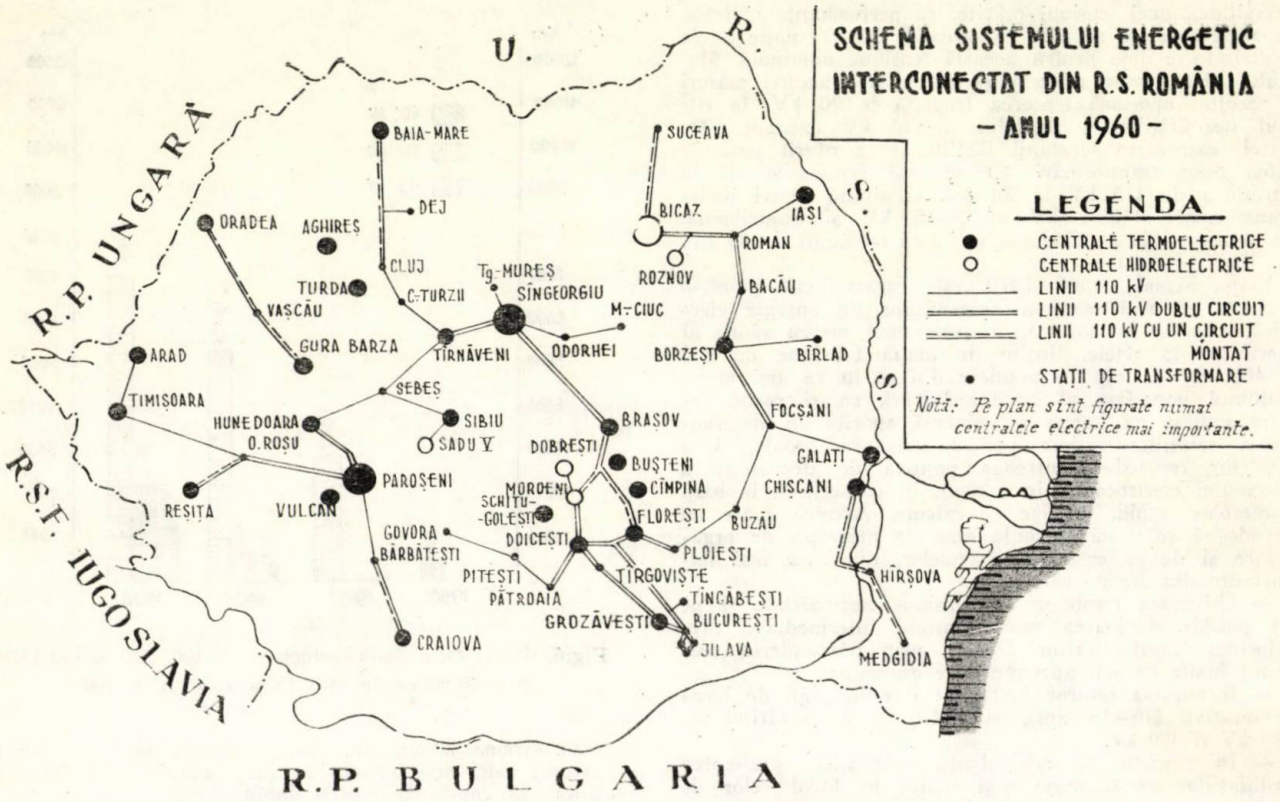

SCHEMA SISTEMULUI ENERGETIC
INTERCONECTAT DIN R.S. ROMÂNIA
- ANUL 1960 -
LEGENDA
CENTRALE TERMOELECTRICE
CENTRALE HIDROELECTRICE
LINII 110 kV
LINII 110 kV DUBLU CIRCUIT
LINII 110 kV CU UN CIRCUIT MONTAT
STAȚII DE TRANSFORMARE
Notă: Pe plan sînt figurate numai centralele electrice mai importante.
U. R. S. S.
R.P. UNGARĂ
R.S.F. IUGOSLAVIA
R.P. BULGARIA
BAIA-MARE
SUCEAVA
DEJ
BICAZ
IAȘI
ORADEA
AGHIREȘ
ROMAN
CLUJ
Tg-MUREȘ
ROZNOV
TURDA
C-TURZII
SÎNGEORGIU
BACĂU
VAȘCĂU
M-CIUC
GURA BARZA
TÎRNĂVENI
ODORHEI
BORZEȘTI
BÎRLAD
ARAD
SEBEȘ
TIMIȘOARA
FOCȘANI
HUNEDOARA
SIBIU
BRAȘOV
O. ROȘU
SADU V
DOBREȘTI
BUȘTENI
GALAȚI
PAROȘENI
MOROENI
CÎMPINA
CHIȘCANI
REȘIȚA
VULCAN
SCHITU-GOLEȘTI
FLOREȘTI
BUZĂU
GOVORA
DOICEȘTI
PLOIEȘTI
BĂRBĂTEȘTI
PITEȘTI
TÎRGOVIȘTE
HÎRȘOVA
PĂTRDAIA
TÎNCĂBEȘTI
GROZĂVEȘTI
BUCUREȘTI
CRAIOVA
JILAVA
MEDGIDIA

Fig. 8.

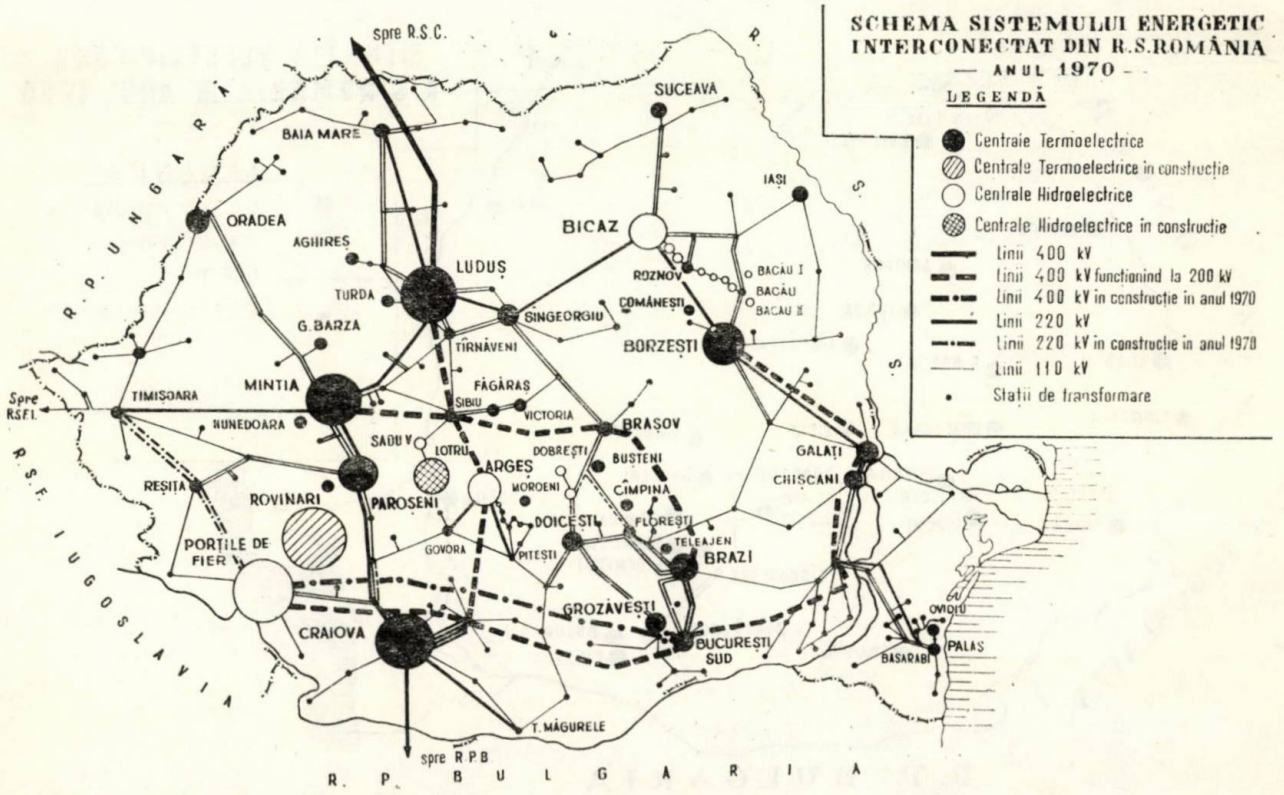

SCHEMA SISTEMULUI ENERGETIC
INTERCONECTAT DIN R.S.ROMÂNIA
— ANUL 1970 —
LEGENDĂ
Centraie Termoelectrice
Centrale Termoelectrice in construcție
Centrale Hidroelectrice
Centrale Hidroelectrice in construcție
Linii 400 kV
Linii 400 kV funcționînd la 200 kV
Linii 400 kV in construcție in anul 1970
Linii 220 kV
Linii 220 kV in construcție in anul 1970
Linii 110 kV
Stații de transformare
Spre R.S.C.
R. P. UNGARĂ
S. S. S. R.
SUCEAVA
BAIA MARE
IAȘI
ORADEA
BICAZ
AGHIREȘ
LUDUȘ
ROZNOV
BACĂU I
BACĂU
BACĂU II
TURDA
SÎNGEORGIU
COMĂNEȘTI
G. BARZA
TÎRNĂVENI
BORZEȘTI
MINTIA
FĂGĂRAȘ
Spre R.S.F.I.
TIMIȘOARA
SIBIU
VICTORIA
BRAȘOV
HUNEDOARA
SADU V
LOTRU
DOBREȘTI
BUȘTENI
GALAȚI
ARGEȘ
REȘIȚA
ROVINARI
MOROENI
CÎMPINA
CHIȘCANI
PAROȘENI
DOICEȘTI
FLOREȘTI
PORȚILE DE FIER
GOVORA
PITEȘTI
TELEAJEN
BRAZI
GROZĂVEȘTI
OVIDIU
CRAIOVA
BUCUREȘTI SUD
PALAS
BASARABI
T. MĂGURELE
R.S.F. IUGOSLAVIA
spre R.P.B.
R. P. BULGARIA

Fig. 9.

revizia altui mare grup din zonă, fie peste avaria liniei celei mai încărcate.

— Transformarea treptată a rețelei de 110 kV din rețea de transport în rețea de distribuție și limitarea buclării sale la zonele deservite de un singur punct de injecție (220/110 kV sau 400/110 kV).

— Producerea puterii reactive cît mai mult în centrele de consum, folosind cu precădere baterii de condensatoare statice, cu excepția marilor puncte de distribuție, unde necesitățile de reglaj impun compensatoare sincrone.

— Încadrarea în plafoanele de scurtcircuit admise prin debuclări și restrîngerea maximă a prevederii de reactoare în instalațiile de 6—10 kV, și în special pe plecări.

Pe baza acestor principii, în prezent este în curs de dezvoltare sistemul electroenergetic național, și în special consolidarea suprarețelei de 220 și 400 kV, urmînd ca la finele anului 1970 rețelele respective să însumeze o lungime de circa 3300 km, față de circa 1100 km cît măsurau la finele anului 1965. În figura 6 se indică evoluția rețelelor electrice 110—400 kV în perioada 1950—1970, iar în figurile 7, 8 și 9, configurația sistemului respectiv la nivelul anilor 1950, 1960 și 1970. După cum se vede din planșa anului 1970, rețeaua de 220 și 400 kV se prevede a se organiza sub forma unei bucle generale cu mai multe legături diagonale, care să cuprindă în acest fel practic întregul teritoriu al țării, la această rețea fiind racordate marile centrale ale sistemului și importantele centre consumatoare de energie electrică.

În ceea ce privește legăturile internaționale, în afară de legătura cu sistemele energetice ale țărilor socialiste din nord (R.S.C., R.P.U., R.D.G., R.P.P. și U.R.S.S.) realizată prin construcția liniei de 400 kV Luduș — Mucacevo — Lemeșani și a nodului de conexiune de la Mucacevo, de pe teritoriul U.R.S.S., sistemul electroenergetic român s-a interconectat în anii trecuți cu cel al R.P.B., prin realizarea liniei de 220 kV Craiova-Bechet, și cu cel al R.S.F.I., prin linia de 110 kV Timișoara-Kikinda. În prezent se studiază interconexiunea cu R.S.F.I., folosind rețelele care converg la CHE Porțile de Fier, de pe cele două maluri ale Dunării.

Este de remarcat că din anul 1970, cînd apare CHE Porțile de Fier, sistemul regional Oltenia devenind puternic excedentar, pentru evacuarea întregii puteri se impune introducerea tensiunii de 400 kV, prin trecerea la funcționare în 400 kV a arterelor construite pentru această tensiune și funcționînd pînă atunci la 220 kV.

În tabela 3 sînt indicate elementele caracteristice ale dezvoltării sistemului electroenergetic național, care ilustrează strînsa corelație dintre apariția diferitelor trepte de tensiune, puterea unitară a grupurilor și mărimea schimbului de putere între sistemele regionale.

Evoluția sistemului electroenergetic spre un ansamblu tot mai complex este ilustrată și de creșterea puterilor de scurtcircuit. În cele de mai jos se indică orientativ evoluția acestor puteri pe barele de 110 kV:

Puterea de scurtcircuit (MVA)

Centrul	1960	1965	1970	1975
Brașov	1080	1280	2300	2920
Cluj	420	1020	1070	2670
Hunedoara	820	1320	4520	4860
București	1120	1950	4320	6460

Ținînd seama de calculele efectuate pe diverse trepte de tensiune, s-a ajuns la concluzia adoptării următoarelor plafoane ale puterilor de scurtcircuit pentru realizarea instalațiilor în rețele:

la 400 kV — 20 000 MVA, la 220 kV — 12 000 MVA, la 110 kV — 6 000 MVA și 3 500 MVA, în funcție de amplasamentul centrului respectiv.

În sfîrșit, trebuie menționat că, pentru a se îndeplini funcționarea sigură și coordonată a sistemului electroenergetic, în condițiile în care acesta devine tot mai complex și cu sarcini multiple, s-a realizat un dispecer energetic modern, utilat cu instalații de automatică și teletransmisii corespunzătoare, recent intrînd în funcțiune și instalația automatică de reglaj frecvență-putere.

Tabela 3

Elementele caracteristice ale dezvoltării treptelor de tensiune în R.S.R. în perioada 1960—1970

Nr. crt.	Specificarea elementelor	Perioada de ani		
		1951—1960	1961—1965	1966—1970
1	Creșterea medie anuală a puterii instalate, MW/an	100	300	850
2	Puterea maximă unitară a grupului, MW	50	150	315
3	Numărul grupurilor de 100 MW și mai mari (buc.)	—	5×100	10×100
		—	1×150	1×150
		—	—	3×175
		—	—	8×200
		—	—	2×315
4	Mărimea procentuală a grupului de puterea cea mai mare față de puterea de vîrf la finele etapei, %	4,2	5,7	5,4
5	Mărimea transportului electric de putere între sistemele energetice regionale, MW	50—100	100—200	300—600
6	Tensiunea treptei superioare, kV	110	220	400
7	Data apariției în exploatare a treptei superioare de tensiune	1930 110kV o singură linie pînă în 1950	1961 220kV și 400kV cu R.S.C. în 1965	1970 400kV
8	Lungimea liniilor de 110, 220 și 400 kV la finele etapei, km			
	— 110 kV	2815	5266	7000
	— 220 kV	—	685	2100
	— 400 kV	—	380	1180

Studiile privind dezvoltarea rețelelor electrice în perspectivă se bazează pe metode științifice de analiză din ce în ce mai perfecționate, făcîndu-se apel la sisteme moderne de calcul, ceea ce a permis examinarea unor game largi de variante și optimizarea soluțiilor de adop-

tat pentru stabilirea configurației rețelelor electrice de 220 și 400 kV. Regimurile de circulații de puteri active și reactive și nivelele de tensiuni, analizele de verificare a stabilității statice și dinamice, problemele de reglaj al tensiunii în sistem, determinarea puterilor de scurtcircuit în diverse puncte etc. sînt efectuate prin folosirea calculatoarelor electronice, relativ de mare capacitate și viteză de lucru, dispunîndu-se de o cartotecă bogată de programe pentru diversele probleme analizate. Totodată este de remarcat că în studiile de sistem au fost folosite metode de calcul și analiză de origine românească, cum este analiza nodală a rețelei electrice utilizînd schemele REI. În prezent se cercetează căi noi de abordare a problemelor de planificare a dezvoltării sistemului energetic, apelînd la folosirea unor modele matematico-optimale mai complexe, care să permită optimizarea dintr-o dată a unui ansamblu mai mare de probleme.

Tendințe de dezvoltare în viitor a sistemului electroenergetic național

Studiile asupra dezvoltării sistemului electroenergetic național au avut în permanență în vedere o perspectivă mai largă decît perioada determinată de către planurile economice ferme, de dezvoltare a economiei țării. Studiile energetice au cuprins, astfel, perioade de cel puțin 10 ani, necesare pentru a stabili profilul viitor al instalațiilor, precum și asigurarea în timp util a echipamentului necesar realizării acestor instalații. Ținînd seamă de Directivele Congresului al IX-lea al P.C.R., studiile energetice de largă perspectivă arată o creștere importantă în continuare a consumului de energie electrică și în mod corespunzător a instalațiilor energetice de producere, transport și distribuție a acestei energii.

Astfel, în domeniul dezvoltării consumului de energie electrică se prevede în mod preliminar că se va ajunge la un consum specific cuprins între 2750 și 2850 kWh/loc.an în 1975, iar în 1980, orientativ, de 4150—4850 kWh/loc.an, valori care se vor situa la nivelul mediu al consumului țărilor europene.

Instalațiile de producere se prelimină să crească cu circa 6500 MW în perioada 1971—1975, și cu circa 10 000 MW în perioada 1976—1980, concretizate în centrale de mare putere cu agregate cu puteri unitare de 300—600 MW. În perioada 1971—1975 este prevăzut să se realizeze prima centrală nuclearoelectrică, urmînd ca în perioada următoare această categorie de centrale să aibă o dezvoltare din ce în ce mai importantă.

În mod corespunzător se vor dezvolta rețelele electrice de transport și de distribuție. Tensiunea de 400 kV va fi suficientă pentru a satisface în această perspectivă cerințele de transport și de schimb de putere în condiții de securitate corespunzătoare, deci nu va fi necesară introducerea unor tensiuni nominale și mai înalte sau a transportului în curent continuu.

În concluzie, electrificarea României se va dezvolta în continuare pe baza unor studii din ce în ce mai complexe, realizîndu-se astfel instalații de înalt nivel tehnic și economicitate ridicată, care să poată face față în condiții optime industrializării țării, ridicării nivelului de trai, asigurării unei baze corespunzătoare pentru opera de desăvîrșire a construcției socialismului.

Evoluția concepției de proiectare a centralelor termoelectrice în Republica Socialistă România

Dr. ing. **C. Burducea**, ing. **C. Moțoiu**, ing. **A. Hristoforov**, ing. **C. Goldenberg**, ing. **N. Mirea**

1. Aspecte de ansamblu ale proiectării

Centralele termoelectrice din țara noastră au avut în cadrul planurilor de electrificare o puternică dezvoltare, formînd sursa principală de energie în cadrul sistemului energetic. Puterea instalată în aceste centrale la finele anului 1968 reprezintă de peste 7 ori puterea instalată în centralele termoelectrice în anul 1950.

Perioada de dublare a puterii instalate în centralele termoelectrice, din realizările de pînă în prezent, este de circa șapte ani, dar în anii imediat următori aceasta urmează a fi de numai circa patru ani, după cum se evidențiază în tabela 1. Aceasta se datorește intrării în funcțiune în ultimii ani a mai multor agregate cu puteri unitare mari.

Tabela 1

Perioadele de dublare a puterii instalate în centralele termoelectrice din România

Anul	1950	1957	1964	1968
Puterea instalată în centrale termoelectrice (MW)	680	1340	2450	circa 4900
Perioada de dublare (ani)		cca 7	cca 7	cca 4

Realizarea unei asemenea dezvoltări a presupus un aport deosebit și în fazele de proiectare. În decursul celor 20 ani de existență, Institutul de studii și proiectări energetice (ISPE) a întocmit proiecte, atît în colaborare cu furnizorii echipamentelor din import și cu institutele specializate din țările furnizoare, cît și în calitate de proiectant unic. O dată cu preluarea și asimilarea în țară a unui sortiment din ce în ce mai mare de utilaje energetice, ponderea lucrărilor în care ISPE este proiectant unic se accentuează. În tabela 2 se prezintă o statistică a proiectelor de centrale termoelectrice elaborate de ISPE pînă în anul 1968.

Ritmul deosebit de dezvoltare a consumului de energie a ridicat drept primă problemă esențială crearea decalajului între proiectare și execuție.

În prezent, toate obiectivele proiectate pînă în anul 1965 au fost puse în funcțiune în sistemul electroenergetic național. Din puterea centralelor proiectate în anii 1966—1968 a intrat în funcțiune o cotă redusă, restul urmînd a se realiza, în cea mai mare parte, pînă în anul 1972.

Referindu-ne la perioada 1951—1965, se constată că perioada de dublare a puterii proiectate a fost de circa cinci ani (față de șapte ani cît a reprezentat dublarea puterii instalate a centralelor termoelectrice). Pentru anii de după 1965, perioada de dublare a puterii proiectate a fost de circa trei ani (față de dublarea puterii instalate în patru ani). Proporțiile evidențiate oferă o imagine asupra realizării progresive a decalajului necesar între proiectarea și realizarea centralelor termoelectrice.

Puterile medii proiectate, unitare pentru diferitele categorii de centrale, rezultă :

- centrale de condensație ... circa 450 MW
- centrale de termoficare (mari, grupuri $\geqslant$ 25 MW) ... circa 150 MW
- centrale de termoficare (mici, grupuri $<$ 25MW) ... circa 10 MW
- centrale Diesel ... circa 1 MW
- centrale de turbine cu gaze ... 108 MW.

Tabela 2

Statistica proiectelor de centrale termoelectrice elaborate de ISPE pînă în anul 1968

	Perioada 1951–1968		din care: putere proiectată, MW, în perioadele			
	Nr. de centrale	Putere proiectată, MW	1951–1955	1956–1960	1961–1965	1966–1968
Total	75	8270	584	1211	2261	4214
din care						
– Centrale de condensație	13	5875	445	700	1230	3500
– Centrale de termoficare (mari)	12	1875	75	450	750	600
– Centrale de termoficare (mici)	35	363	20	56	173	114
– Centrale cu mașini cu combustie internă	15	157	44	5	108	—

Acordînd o importanță de prim ordin optimizării soluțiilor în faza de concepție, dat fiind că prin aceasta se pot realiza cele mai substanțiale avantaje economice, proiectarea centralelor termoelectrice în cadrul ISPE a urmărit aplicarea, în condițiile specifice țării noastre, a tendințelor generale de progres tehnic, verificate de tehnica mondială. Dintre acestea se menționează :

— mărirea puterii unitare a agregatelor (fig. 1) ;

— concentrarea puterii în centralele termoelectrice (fig. 2) ;

— creșterea parametrilor aburului viu (fig. 3) ;

— dezvoltarea centralelor de termoficare (fig. 4) și imprimarea tendinței de comasare a consumatorilor de căldură în centre de consum alimentate din centrale mari de termoficare.

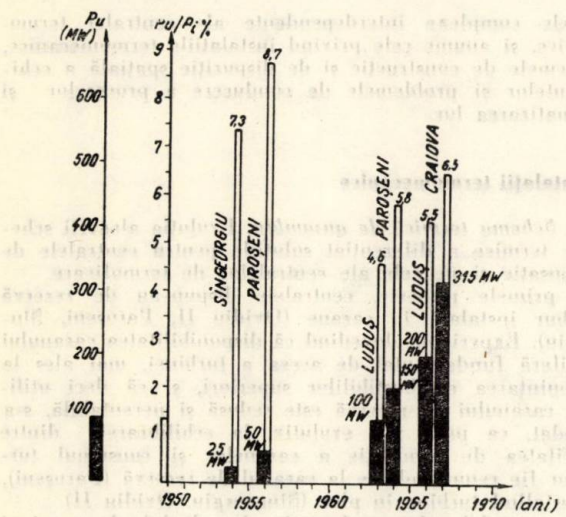


Fig. 1. Evoluția puterii unitare a agregatelor termoelectrice din România.

Pu — putere unitară maximă; $\frac{Pu}{Pi} = \frac{\text{puterea unitară maximă}}{\text{puterea sistemului interconectat}}$

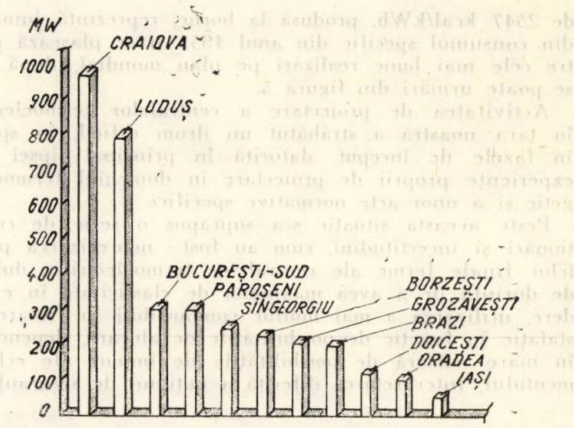


Fig. 2. Clasarea centralelor termoelectrice existente în România la sfîrșitul anului 1967, după mărimea lor.

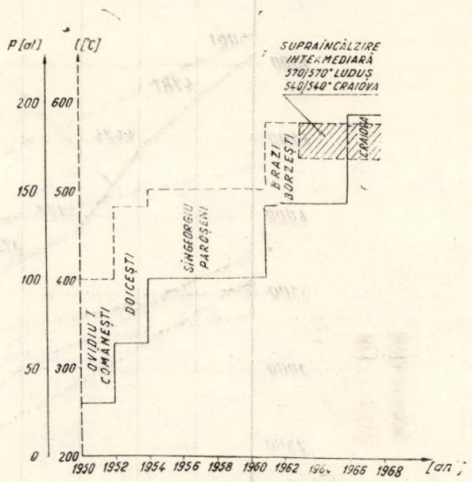


Fig.3. Evoluția parametrilor aburului viu ai centralelor termoelectrice din România.

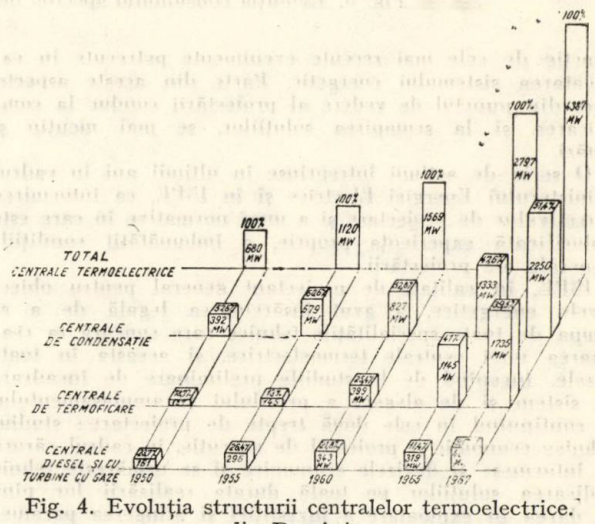


Fig. 4. Evoluția structurii centralelor termoelectrice din România.

Darea în exploatare a centralelor termoelectrice noi proiectate, care includ o cotă însemnată de centrale de termoficare, a condus, în ansamblu, la reducerea an de an a consumului specific de combustibil pentru producerea energiei electrice. Valoarea realizată în anul 1967,

de 2547 kcal/kWh, produsă la borne, reprezintă jumătate din consumul specific din anul 1955 și se plasează printre cele mai bune realizări pe plan mondial, după cum se poate urmări din figura 5.

Activitatea de proiectare a centralelor termoelectrice în țara noastră a străbătut un drum dificil, în special în fazele de început, datorită în principal lipsei unei experiențe proprii de proiectare în domeniul termoenergetic și a unor acte normative specifice.

Peste această situație s-a suprapus o serie de condiționări și incertitudini, cum au fost: neprecizarea profilelor finale ferme ale centralelor termoelectrice, dublată de dorința de a avea maximum de elasticitate în extindere, utilizarea a mai multor combustibili în fiecare instalație în funcție de posibilitățile de alocare, dependență în mare măsură de posibilitățile de import ale echipamentului, interpretarea diferită a noțiunii de siguranță în

— adoptarea de soluții avansate, dar experimentate, în țările mature industrial, urmărind să se obțină indicatori cît mai buni pentru exploatare, în condiții de eficiență economică cît mai ridicată;

— folosirea unor soluții care să țină seama de posibilitățile de execuție ale constructorilor și montorilor noștri și, totodată, de posibilitățile de achiziție a utilajelor și materialelor;

— realizarea de economii în consumul materialelor deficitare și a importului;

— mărirea siguranței în exploatare și coordonarea măsurilor care să contribuie la acest scop.

*

În cele ce urmează se prezintă evoluția concepției ISPE, privind unele probleme tehnice majore, și se arată punctele de vedere statornicite în prezent referitoare la ele-

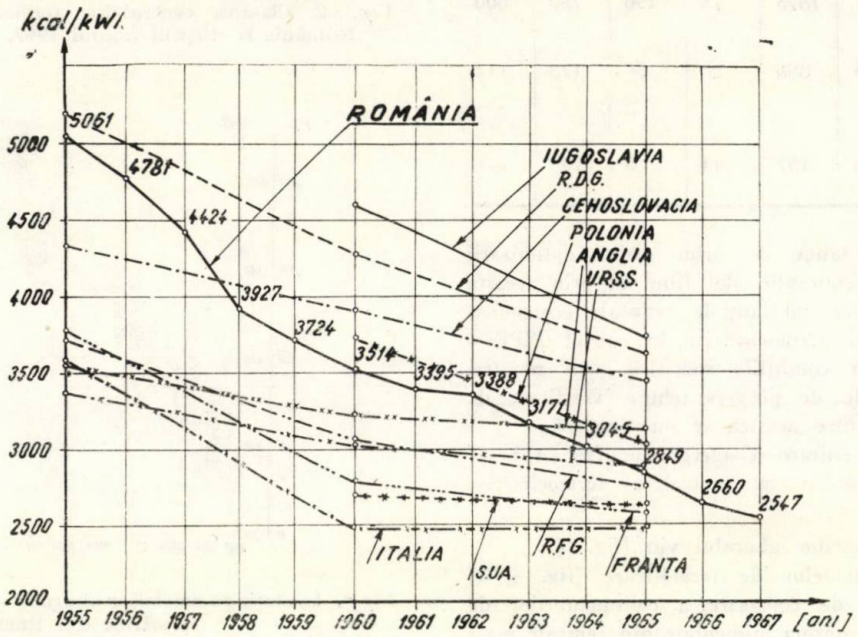


Fig. 5. Evoluția consumului specific de căldură pe ansamblul centralelor termoelectrice.

funcție de cele mai recente evenimente petrecute în exploatarea sistemului energetic. Parte din aceste aspecte, care din punctul de vedere al proiectării conduc la complicarea și la scumpirea soluțiilor, se mai mențin și astăzi.

O serie de acțiuni întreprinse în ultimii ani în cadrul Ministerului Energiei Electrice și în ISPE, ca întocmirea directivelor de proiectare și a unor normative în care este valorificată experiența proprie, a îmbunătățit condițiile generale ale proiectării.

ISPE, în calitate de proiectant general pentru obiectivele energetice, a avut însărcinarea legală de a se ocupa de toate specialitățile tehnice care concură la realizarea unei centrale termoelectrice, și aceasta în toate fazele, începînd de la studiile preliminare de încadrare în sistem și de alegere a profilului și amplasamentului și continuînd în cele două trepte de proiectare: studiul tehnico-economic și proiectul de execuție, în cadrul cărora se întocmesc și devizele economice și se urmărește tehnic aplicarea soluțiilor pe toată durata realizării lor pînă la darea în exploatare a investiției și atingerea parametrilor proiectați.

În această direcție s-a urmărit în principal:

— crearea unei concepții unitare în privința soluțiilor tehnice și a felului în care să se facă exploatarea lor;

— adaptarea soluțiilor astfel încît să răspundă cît mai bine condițiilor locale și necesităților de consum de energie electrică și căldură;

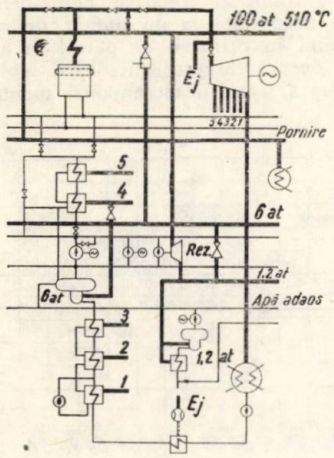
mentele complexe interdependente ale centralei termoelectrice, și anume cele privind instalațiile termomecanice, problemele de construcție și de dispoziție spațială a echipamentelor și problemele de conducere a proceselor și automatizarea lor.

2. Instalații termomecanice

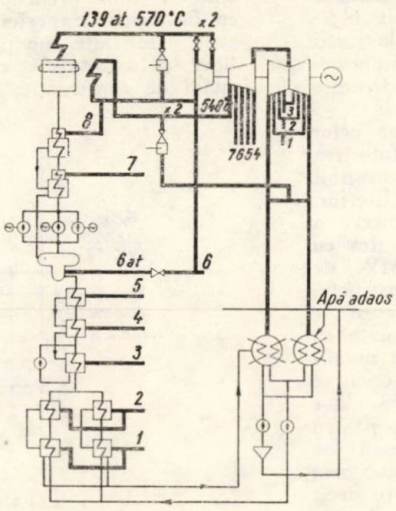
2.1. *Schema termică de ansamblu.* Evoluția alegerii schemelor termice a diferențiat soluțiile pentru centralele de condensație și pe cele ale centralelor de termoficare.

În primele proiecte, centralele dispuneau de rezervă de abur instalată în cazane (Ovidiu II, Paroșeni, Sîngeorgiu). Experiența dovedind că disponibilitatea cazanului nu diferă fundamental de aceea a turbinei, mai ales la întrebuințarea combustibililor superiori, și că deci utilizarea cazanului de rezervă este redusă și nerentabilă, s-a procedat, ca prim pas evolutiv, la echilibrarea dintre capacitatea de producție a cazanelor și consumul turbinelor fie renunțîndu-se la cazanul de rezervă (Paroșeni), fie instalînd turbine în plus (Sîngeorgiu, Ovidiu II).

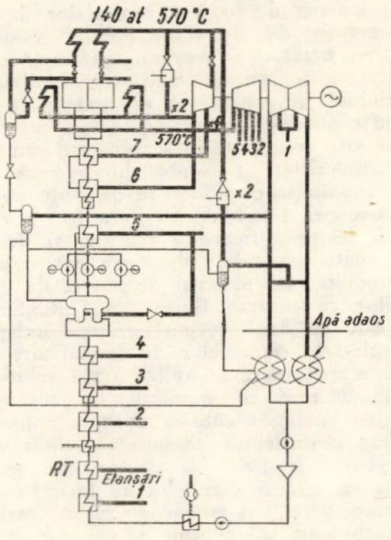
La centralele de condensație, la nivelul de presiuni pînă la 100 at inclusiv, s-a folosit schema cu bară de abur între cazane. Aceasta, sub forma unei conducte simple, dimensionată la debitul unui singur cazan, a constituit de fapt o legătură de ajutor, permanent sub presiune, fără să excludă și legătura directă cazan-turbină.



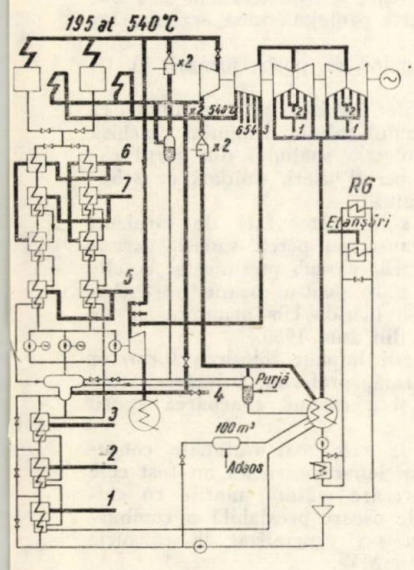
Paroșeni 50 MW - LMZ
5 prize t_{al} = 215 °C



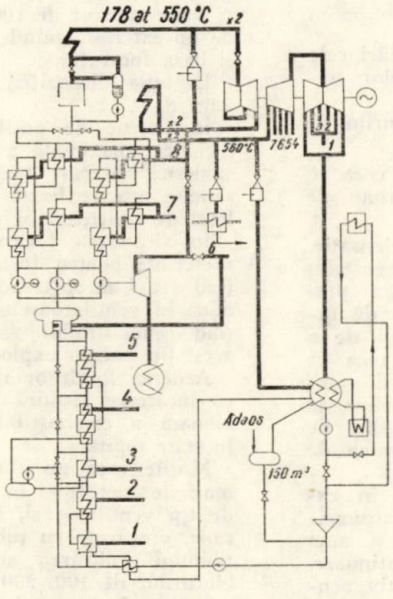
Luduș - Craiova 100 MW - Skoda
8 prize t_{al} = 235 °C



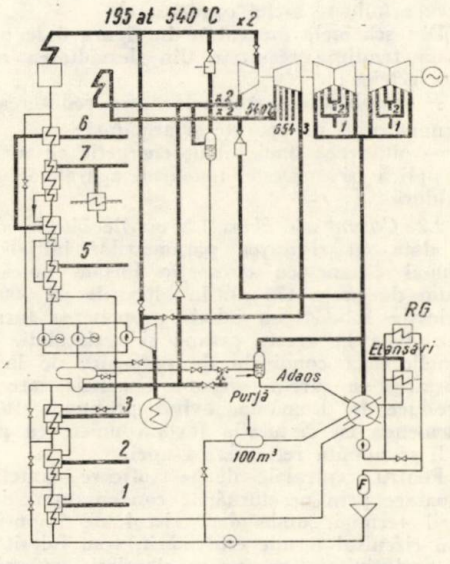
Deva 200 MW - LMZ
7 prize t_{al} = 230 °C



Craiova 315 MW SPIE - Rateau
7 prize t_{al} = 265 °C



Rovinari 200 MW - Skoda
8 prize t_{al} = 250 °C



Bloc 330 MW RSR - licență Rateau - Babcock
7 prize t_{al} = 260 °C

Fig.6. Evoluția schemelor termice ale centralelor termoelectrice din România.

În final, schema de bază a centralelor de condensaţie s-a ales exclusiv de tip bloc. Soluţia a devenit obligatorie şi ca urmare a creşterii parametrilor, dar mai ales ca urmare a întrebuinţării supraîncălzirii intermediare, introdusă în general la agregatele de condensaţie începînd cu centralele Luduş şi Craiova.

Grija pentru continuitatea exploatării unităţilor celor mai mari din sistem a condus pe parcurs la folosirea a două cazane în schema bloc la unităţile cu combustibil cărbune (Paroşeni, 150 MW, Craiova, 315 MW). Ulterior, din motive de simplificare a schemei şi de reducere a investiţiei, toate agregatele de mare putere s-au ales cu schemă monobloc. La palierul de putere de 200 MW, de tip monobloc cu cazanul livrat din U.R.S.S., construcţia cazanului este cu două corpuri gemene independente.

Şi la proiectele centralelor de termoficare echipate cu grupuri de mare putere se aplică acum soluţia cu numărul de cazane egal cu numărul de turbine, ceea ce creează tranşe independente şi apropie noţiunea de bloc şi la schema centralei de termoficare chiar dacă, pentru siguranţă, bara de abur de ajutor este menţinută iar alimentarea cu apă a cazanelor se face în comun, prin conducta colectoare. Un număr de cazane mai mare decît numărul turbinelor se menţine ca soluţie în cazuri speciale, pentru situaţiile cînd siguranţa cerută sursei de căldură trebuie să se bazeze pe un număr bine definit de unităţi producătoare de abur.

Condiţiile de livrare a aburului către consumatorii de căldură au impus centralelor de termoficare să folosească pînă în prezent numai scheme cu conducte de abur de legătură între unităţi.

Se face o analiză deosebită pentru schemele de pornire şi oprire, urmărindu-se reducerea pierderilor de fluid în aceste situaţii. La centralele de condensaţie bloc, cu cazane cu circulaţie forţată unică, este caracteristică alegerea dimensiunii şi plasarea staţiilor de reducere răcire ocolitoare ale turbinei şi legăturile acestora cu expandorul de pornire, cu degazorul şi cu condensatorul, aşa cum se poate urmări din figura 6, unde sînt redate evolutiv schemele blocurilor de condensaţie adoptate în centralele din ţara noastră.

La centralele electrice cu bare colectoare de abur sînt prevăzute conducte de abur separate pentru pornire, prin care cazanul ce se porneşte livrează abur într-un condensator de pornire pînă la legarea lui la bara de abur, recuperîndu-se astfel condensatul.

Din schemele prezentate în figura 6 se pot urmări cele două tendinţe rezultate din dezvoltarea centralelor termoelectrice :

— simplificarea schemelor prin reducerea legăturilor şi a numărului de aparate şi armături ;

— obţinerea unui bilanţ energetic cît mai bun, ceea ce complică şi măreşte numărul aparatelor de schimb de căldură.

2.2. *Cazane de abur.* La marile blocuri de condensaţie, o dată cu ridicarea parametrilor iniţiali s-au instalat numai cazane cu circulaţie forţată unică. Pentru presiuni de peste 175 at, la blocurile de 200 MW, de fabricaţie R.S.C., s-a admis propunerea furnizorului de a introduce la aceste cazane şi recirculaţia apei, ceea ce ameliorează condiţiile de repornire de la cald şi comportarea la sarcini scăzute. Cazanele care urmează a se produce în România, avînd presiunea 195 at, sînt de asemenea cu circulaţia forţată unică, cu posibilitatea de a li se adopta recircularea apei.

Pentru centralele de termoficare caracterizate în exploatare prin nereturnările condensatului de la consumatorii termici, unde deci riscul de impurificare a apei din circuitul termic este mărit, s-au folosit în continuare, în exclusivitate, cazane cu circulaţie naturală, motiv pentru care şi presiunea ciclului a fost plafonată la 140 ata.

În figura 7 se poate urmări evoluţia numerică a tipurilor de cazane din centralele din ţara noastră în care pînă în 1960 s-au folosit numai cazane cu circulaţie naturală, iar începînd cu anul 1964 s-au introdus la blocurile de condensaţie cazane cu circulaţie forţată unică.

Soluţia de dispoziţie a cazanului şi felul instalării sale (în clădire, semiexterior sau exterior) au format în ISPE obiectul unor preocupări, studii şi tratative permanente cu furnizorii. Experienţa acumulată la un număr de cazane industriale funcţionînd în rafinării de petrol în aer liber şi avantajele ce decurg asupra micşorării volumului de construcţie, asupra uşurării mecanizării monta-

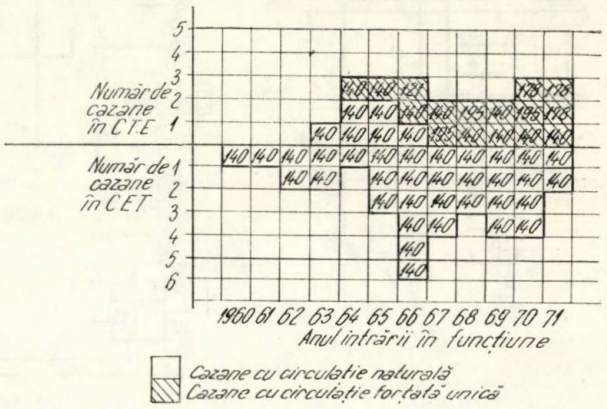


Fig.7. Numărul cazanelor de mare capacitate instalate anual în România. (Cifra din dreptunghi reprezintă presiunea, în at).

jului şi în final asupra termenului de dare în exploatare au fost argumentele pentru folosirea cazanelor de tip exterior sau cel puţin semiexterior.

Primele cazane semiexterioare, avînd peretele din spate şi preîncălzitorul de aer în aer liber, au fost cele de construcţie Taganrog-U.R.S.S., de 420 t/h, 140 at, folosite în centralele de termoficare cu grupuri de 50 MW. Ele s-au comportat bine în exploatare în decursul celor opt ani scurşi de la instalarea primei unităţi de acest tip. Cazanul exterior tip turn, de 400 t/h, cu gaze, livrat de firma Dürr şi dat în exploatare în 1966 la centrala Sîngiorgiu, a confirmat de asemenea această experienţă pozitivă, cum de altfel este şi concluzia exploatării cazanelor exterioare instalate în alte ţări cu climă asemănătoare.

Noile cazane de 1000 t/h care se asimilează în ţară sînt de tip exterior, avînd ca parte protejată zona arzătoarelor şi baza focarului.

Evoluţia dispoziţiei cazanelor se poate urmări în figura 8.

În funcţie de posibilităţile furnizorului s-a admis ca închidere maximală a cazanului soluţia denumită „închisă modernă" în care toată protecţia spaţiului din jurul cazanului este realizată prin pereţi uşori, solidari cu scheletul de rezistenţă al cazanului.

În alcătuirea focarului, s-au arătat faţă de furnizori preferinţe pentru focare etanşe, cu pereţi sudaţi, permiţînd astfel să se treacă la arderea sub presiune şi la eliminarea ventilatoarelor de gaze pentru cazane întrebuinţînd combustibilul gazos şi lichid. Un prim cazan de acest tip este în exploatare din anul 1966.

Arderea ligniţilor româneşti impune folosirea focarelor cu încărcare termică moderată, preferînd injectarea turbionară a combustibilului şi excluzînd evacuarea zgurii în stare topită.

Morile care au condus la cele mai raţionale consumuri de energie şi la o funcţionare eficientă au fost cele de tip ventilator şi, în oarecare măsură, morile cu ciocane, prevăzute cu tuburi de uscare prealabilă a combustibilului. Folosirea acestora s-a generalizat la cazanele blocurilor de 100, 200 şi 315 MW.

Întrebuinţarea mai multor combustibili cu caracteristici diferite, arşi separat sau în amestec, în proporţii variabile, au mărit complexitatea sistemelor de ardere ; citãm, în această direcţie, cazanele de 500 t/h, de construcţie MAN, de la Craiova, pentru lignit, huilă şi gaze, sau cazanele de 420 t/h de la CET Galaţi, livrate din U.R.S.S., pentru patru combustibili : gaze naturale, gaze de furnal, gaze de cocs şi păcură. Drept consecinţă, la peste jumă-

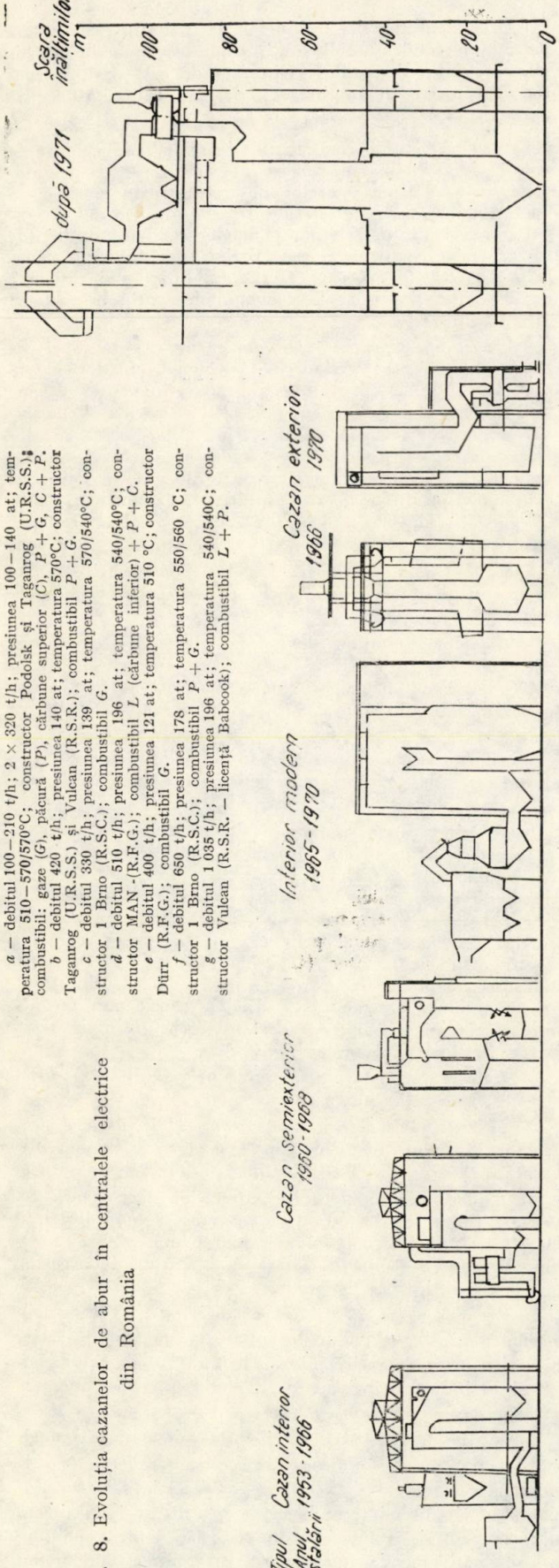


Fig. 8. Evoluția cazanelor de abur în centralele electrice din România

a – debitul 100–210 t/h; 2 × 320 t/h; presiunea 100–140 at; temperatura 510–570/570°C; constructor Podolsk și Taganrog (U.R.S.S.); combustibil: gaze (*G*), păcură (*P*), cărbune superior (*C*), *P* + *G*, *C* + *P*.
b – debitul 420 t/h; presiunea 140 at; temperatura 570°C; constructor Taganrog (U.R.S.S.) și Vulcan (R.S.R.); combustibil *P* + *G*.
c – debitul 330 t/h; presiunea 139 at; temperatura 570/540°C; constructor 1 Brno (R.S.C.); combustibil *G*.
d – debitul 510 t/h; presiunea 196 at; temperatura 540/540°C; constructor MAN (R.F.G.); combustibil *L* (cărbune inferior) + *P* + *C*.
e – debitul 400 t/h; presiunea 121 at; temperatura 510 °C; constructor Dürr (R.F.G.); combustibil *G*.
f – debitul 650 t/h; presiunea 178 at; temperatura 550/560 °C; constructor 1 Brno (R.S.C.); combustibil *P* + *G*.
g – debitul 1 035 t/h; presiunea 196 at; temperatura 540/540C; constructor Vulcan (R.S.R. – licență Babcook); combustibil *L* + *P*.

tate din cazanele blocurilor de condensație sînt montate ventilatoare de recirculare a gazelor.

2.3. *Alimentarea cu apă a cazanului.* Alimentarea cu apă a cazanelor de la blocurile de condensație se face numai independent pe bloc, după o preîncălzire obținută în șapte și opt trepte. În toate circuitele de preîncălzire este caracteristică existența degazorului termic și a unei rezerve de apă de alimentare pentru circa zece minute, la presiunea de 6—8 ata.

Majoritatea degazoarelor sînt exploatate cu presiune constantă ; în funcție însă de posibilitățile de livrare s-a insistat în ultimii cinci ani și pentru folosirea degazării la presiune alunecătoare, legată rigid și fără reglaj de presiune de una din prizele turbinei.

În legătură cu adoptarea degazării cu presiune alunecătoare, s-au efectuat studii suplimentare menite să rezolve alegerea volumului rezervorului de apă, dispoziția lui, legătura dintre rezervor și pompele de alimentare, precum și alimentarea de siguranță, care să asigure viteza dorită de scăderea presiunii la aruncarea sarcinii.

La toate blocurile cu putere mai mare decît 100 MW avînd cazane cu circulație forțată unică se dă o atenție deosebită recuperării condensatului din preîncălzitoare și se preferă soluția cu scurgerea în cascadă a treptelor de joasă presiune pînă în condensator fiindcă astfel toate produsele de coroziune din suprafețele cu care apa vine în contact sînt colectate în condensator și pot fi reținute în instalația de tratare a condensatului, dimensionată pentru curățirea permanentă a 100% din debit (fig. 6).

Pompele de alimentare au format obiectul unei alte preocupări sistematice în ISPE.

Pentru toate blocurile s-au ales pompe cu reglaj de turație. În cazul antrenării electrice s-a adoptat reglajul prin cuplă hidraulică intermediară, iar dacă furnizorul nu a fost în măsură să o livreze de la început, în locul său s-a lăsat spațiul pentru montarea ulterioară a ei.

Justificarea acestei decizii este dată de analiza modului de funcționare a centralelor termoelectrice în sistemul energetic național.

Siguranța în alimentare este obținută prin alegerea unui număr de trei electropompe, din care două în funcțiune și una în rezervă, dimensionate fiecare pentru circa 55% din debitul cazanului.

În situațiile cînd alimentarea principală este preluată de turbopompe, s-a instalat o singură turbopompă pentru întreg debitul maxim al cazanului și două electropompe de rezervă, fiecare dotată cu cuplă hidraulică pentru 55% din debit.

Deși mai prudentă decît formulele adoptate în alte țări, pentru unitățile cu puteri cuprinse între 250—600 MW (în Franța sau în S.U.A.), soluția cu rezervă integrală în electropompe se justifică la blocurile cu cazan cu circulație forțată unică prin :

— experiență limitată în ceea ce privește exploatarea de durată a turbopompelor ;

— condițiile impuse debitului de alimentare de cazanele cu circulație forțată unică la pornire și la aruncarea sarcinii, atunci cînd este obligatorie funcționarea electropompelor.

În tabela 3 se poate urmări evoluția dimensionării pompelor de alimentare la blocurile de condensație din România.

Tabela 3

Evoluția dimensionării pompelor de alimentare la blocurile de condensație din România

Puterea unitară, MW	100		200		315
Număr de unități	6	1	8	4	4
Presiunea cazanului, at	139	121	140	178	195
Număr × debit $\left(\frac{Dp}{D_1}\right)$* Turbopompe	—	—	—	1×100%	1×100%
Electropompe	3×60%	2×100%	3×55%	2×55%	2×55%

*) Dp – debitul maxim al pompei
D_1 – debitul maxim continuu al cazanului.

Alegerea felului antrenării a format obiectul unor studii speciale ale căror concluzii, în conjunctura actuală de preţuri din ţara noastră şi la o utilizare de peste 5000 h/an a centralelor termoelectrice de condensaţie, indică avantajoasă întrebuinţarea turbopompelor de la puteri de 200 MW, la presiuni peste 165 at, şi de la puteri de 300 MW, pentru presiuni peste 140 at.

2.4. *Turbine cu abur.* Turbinele cu abur au constituit pînă în prezent utilaje de import pentru toate unităţile cu puteri peste 6 MW. Preocuparea principală a proiectantului în legătură cu turbinele a fost deci aceea de a stabili condiţiile tehnice cele mai potrivite pentru exploatarea optimă în condiţiile amplasamentului şi cerinţele sistemului energetic, şi anume în privinţa performanţelor tehnice, a dimensionării părţii de joasă presiune, a condiţiilor de statism şi reglaj, a timpilor şi vitezelor de pornire şi încărcare şi a siguranţei de funcţionare.

Cele mai multe din turbinele centralelor electrice proiectate au fost de tipul cu acţiune, corespunzător procedeului de fabricaţie al furnizorilor. Un umăr de 16 unităţi, cu puteri pînă la 100 MW inclusiv, sînt de tipul cu reacţiune.

Condiţiile foarte variabile de răcire din ţara noastră, datorită, pe de o parte regimurilor de scurgere a rîurilor şi, pe de altă parte, variaţiilor însemnate de temperatură a aerului, cauzate de clima continentală, au amplificat problema specială a stabilirii condiţiilor nominale cele mai judicioase de temperatură pentru care urmează a se dimensiona şi livra turbina. Temperaturile medii anuale ale surselor de răcire sînt în jur de 12°C pentru apa rîurilor şi se pot ridica pînă la 22—24°C în cazul răcirii cu circuit închis cu turnuri cu tiraj natural.

În funcţie de posibilităţile constructive de adaptare ale furnizorilor, aceste temperaturi se reflectă în condiţiile tehnice şi au condus la situaţia de a întîlni în prezent în sistem turbine cu caracteristicile din tabela 4.

Tabela 4

Caracteristicile turbinelor cu abur

Felul turbinei	Condensaţie pură				Condensaţie şi priză reglabilă	
Puterea, MW	50	100	200	315—330	50	100
Nr. de corpuri	1	3	3	4	2	2
Nr. de fluxuri la condensator	1	2	2	4	1	2
Lungimea paletei ultimei trepte, mm	665	440—585	765—875	845	780	550

În proiectare, s-a dat o atenţie crescîndă siguranţei împotriva incendiului la instalaţiile de ulei ale turbinei. În această direcţie s-au luat măsuri de îndepărtare a zonelor cu conducte fierbinţi de traseele conductelor de ulei, izolarea conductelor de ulei cu o manta suplimentară de tablă pentru prevenirea împroşcării uleiului spre suprafeţe calde şi izolate, protejarea rezervorului de ulei cu o instalaţie fixă de stingere cu apă pulverizată comandată de la distanţă, dar manual, şi colectarea raţională a uleiului scurs accidental.

La condensatoarele turbinelor la unităţile cu tratare parţială a condensatului sînt introduse compartimente de selectare a condensatului salin faţă de cel curat, măsură care nu apare în continuare oportună la unităţile prevăzute cu tratare integrală.

Pentru a menţine coeficientul de schimb de căldură la valori ridicate, se iau măsuri de curăţire a condensatorului, prin mărirea vitezelor de trecere, prin clorinare a apei şi uneori prin folosirea bilelor de cauciuc.

Părerea ISPE în privinţa pompelor condensatorului (de răcire şi de condensat) s-a dirijat spre folosirea pompelor cu ax vertical, care oferă posibilităţi mai raţionale de dispoziţie şi conduc la economii de spaţiu la parterul sălii maşinilor.

2.5. *Instalaţii pentru apa de răcire.* Lipsa apei de răcire şi reducerea periodică a debitelor rîurilor în sezonul cald de la sfîrşitul verii conduc, în contextul măririi puterilor instalate în centralele electrice, la rezolvări din ce în ce mai complicate ale sursei reci a ciclului termic. Această problemă, caracteristică fiecărui amplasament, influenţează hotărîtor valorile de investiţie şi consumul specific şi a fost studiată amănunţit în ISPE în cadrul proiectării de ansamblu a fiecărei centrale electrice.

Circuitele de răcire ale centralelor termoelectrice româneşti sînt complexe şi se caracterizează prin următoarele elemente esenţiale:

— folosirea soluţiilor de răcire mixte, în care turnurile de răcire completează debitul rîului uneori pînă la 90%. Folosirea acestei scheme a fost dovedită eficientă economic pînă la asigurări ale debitului apei pe rîu cu durate sub 100 zile pe an;

— construirea de tipuri de turnuri de răcire care se dovedesc a da cea mai mare eficienţă economică circuitului de răcire;

— folosirea unui număr de două trepte de pompare a apei de rîu, dacă din motive de protecţie contra inundaţiei platforma de aşezare a obiectivului se găseşte mult deasupra cotei rîului, de studierea reducerii consumului de energie de pompare prin: ridicarea cotei apei în spatele prizei, eventual pentru a realiza chiar scurgerea liberă prin condensator (CTE Paroşeni, CET Borzeşti), folosirea de pompe cu caracteristici variabile, prin reglarea unghiului paletelor (CTE Luduş, Deva), sau recuperarea energiei hidraulice în microhidrocentrale de recuperare (soluţie propusă la Luduş);

— folosirea unei trepte de pompare separată la turnurile de răcire cînd circuitul este mixt;

— pretratarea apei prin dedurizare la circuitele de răcire închise, în situaţii de lipsă de apă de adaos suficientă pentru a asigura prin purjare nivelul de săruri;

— dimensionarea întregului circuit de răcire fără rezerve, urmînd ca în caz de defecţiune a unei instalaţii de răcire sau a unui uvraj hidrotehnic să se funcţioneze cu un debit de răcire mai scăzut, deci cu un nivel mai ridicat de temperatură.

În decursul celor 20 de ani de activitate, ISPE a avut o contribuţie deosebită în dezvoltarea turnurilor de răcire şi a sistemelor de răcire folosite în ţară atît în energetică, cît şi în industrie în general. Evoluţia soluţiilor adoptate este prezentată în figura 9.

Turnurile de răcire cu tiraj forţat, dovedite economic interesante, au fost folosite în perioada 1960—1966 la un număr de centrale electrice, în special unde funcţionarea în circuit mixt conducea la o utilizare intermitentă a turnurilor şi la folosirea în cele mai bune condiţiuni a capacităţii lor de supraîncărcare termică (CTE Luduş şi Craiova, CET Brazi şi CET Oradea). Folosirea turnu-

rilor de răcire de construcţie celulară, cu ventilatoare cu diametre pînă la 8 m, nu mai apare în prezent raţională, dat fiind numărul exagerat de celule necesare pentru satisfacerea debitelor de apă din ce în ce mai mari, şi datorită problemei influenţării lor reciproce combinat cu efectul de ceaţă la sol. Între turnurile cu tiraj forţat monoventilator, de mare capacitate, şi turnurile cu tiraj natural s-a dat în ultimul timp preferinţă pentru dezvoltarea celor din urmă, din motive de simplificare a exploatării, chiar dacă cele cu tiraj forţat oferă totuşi în calcule un uşor avantaj economic.

Tendinţa de a extinde unitatea bloc şi pe partea de răcire a impus să se abordeze proiectarea turnurilor de răcire gigant pentru debite de apă de 25 000—40 000 m³/h, corespunzător unităţilor de 200 şi 300 MW introduse în sistemul energetic naţional.

În legătură cu aceasta se face o serie de cercetări iniţiate de ISPE pentru stabilirea comportării turnului cu o înălţime de circa 100 m, luat individual sau în grupe, precum şi în legătură cu problemele de repartiţie a apei şi aerului în turn.

Construirea sistemelor de răcire a marcat de asemenea mai mulţi paşi, prin folosirea soluţiilor peliculare eficiente, înlocuirea lemnului cu azbociment plan şi apoi ondulat şi în final preocuparea de a reduce masa de material folosită în sistemul de răcire, eventual prin reintroducerea picurării.

2.6. *Tratarea apei.* Paralel cu evoluţia parametrilor de abur folosiţi şi cu progresul tehnic deosebit în privinţa fabricării maselor schimbătoare de ioni s-a dezvoltat şi preocuparea pentru instalaţiile de tratare a apei. În ISPE această specialitate a ocupat un loc major, fiindcă s-au proiectat şi staţiile de tratare în ansamblul lor, dar s-au întocmit şi proiecte pentru utilajele aferente, îndeosebi pentru filtrele ionice, în scopul preluării lor în producţia industriei naţionale.

Centralele de termoficare au necesitat staţii de tratare neobişniut de mari, culminînd cu proiectele pentru Braşi şi Craiova pentru 750 t/h, şi pentru Borzeşti, 1000 t/h, lucrări deosebit de ample, chiar la scară mondială, dacă se ţine seama şi de calităţile defavorabile ale apei brute ce trebuia tratată.

În domeniul tratării apei, condiţiile de calitate pentru apa de alimentare a cazanului şi concluziile calculelor tehnico-economice efectuate au generalizat încă de la nivelul anului 1958 soluţiile cu demineralizarea totală prin mase schimbătoare de ioni la toate centralele de condensaţie şi la majoritatea celor de termoficare.

Corespunzător, s-au dezvoltat şi în ISPE două puncte de vedere cu privire la principiile de dimensionare a staţiilor de tratare: pentru centralele de condensaţie s-au adoptat scheme care dau mare siguranţă pentru calitatea optimă a apei, folosind de exemplu în mod sistematic trepte de finisare a apei, în timp ce la centralele de termoficare s-a urmărit economia maximă de mase ioionice şi, totodată, de reactivi pentru regenerare.

Dimensionarea staţiilor de tratare este făcută ţinînd cont de necesităţile maxime probabile de apă şi folosind totodată un tampon important de apă demineralizată în rezervoare la presiune atmosferică.

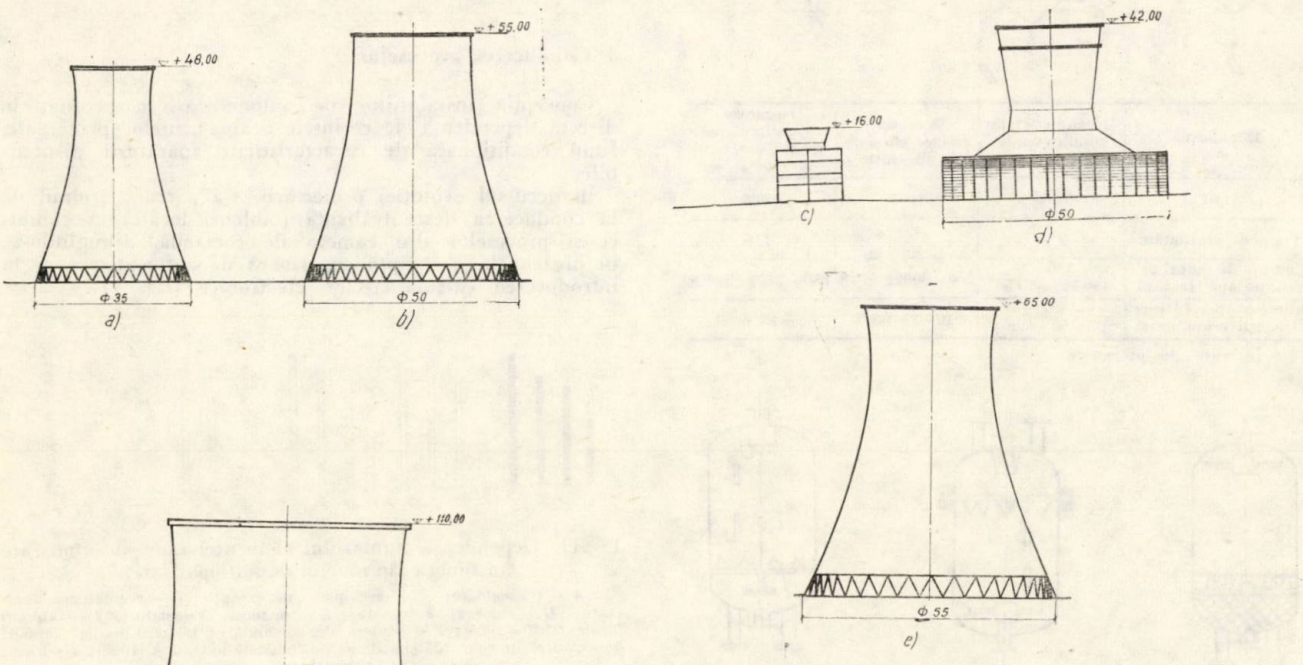


Fig. 9. Evoluţia turnurilor de răcire la centralele electrice din România:

a — 1952 — 1968: nr. de unităţi realizate: 20, S = 700 m²; q = 7,1 m³/m².h; Q = 5000m³/h; sistem de răcire în contracurent;

b — 1955—1968: nr. de unităţi realizate: 38; S — 1 500 m²; q — 6,7 m³/m²·h; Q — 10 000 m³/h; sistem de răcire în contracurent;

c — 1962—1968:

1962: nr. de unităţi realizate: 5 (43 celule); lăţimea — 8,8 m; lungimea — 7,2 m; S — 64 m²/celulă; q — 7,8 m³/m²·h; Q — 500 m³/h; sistem de răcire în contracurent; Ø ventilator — 4,7 m; P ventilator — 28 kW;

1968: nr. de unităţi realizate: 7 (63 celule); lăţimea — 13 m; lungimea — 10 m; S — 130 m²/celulă; q — 8,5 m³/m²·h (max. 15,4); Q — 1 100 m³/h celulă (max. 2 000 m³/h celulă); sistem de răcire în contracurent; Ø ventilator — 8 m; P ventilator — 87 kW.

d — 1967 — 1968: nr. de unităţi realizate: 4; S — 1 100 m² (volum răcire — 10 000 m³); q — 18 m³/m²·h; Q — 20 000 m³/h; sistem de răcire în curent transversal; Ø ventilator — 18 m; P ventilator — 750 kW.

e — 1968: nr. de unităţi realizate: 6; S — 2 000 m²; q — 7 m³/m²·h; Q — 14 000 m³/h; sistem de răcire în contracurent.

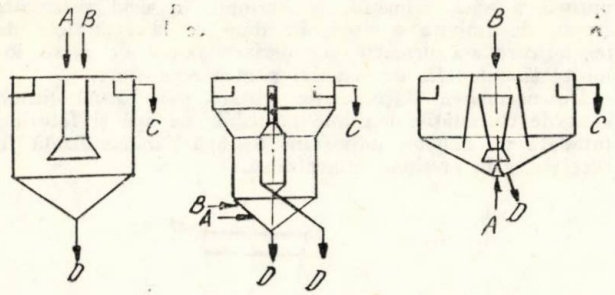
f — 1970: S — 5 000 m²; q — 5,6 m³/m²·h; Q — 28 000 m³/h; sistem de răcire în contracurent.

La centralele de condensaţie cu cazane cu circulaţie forţată unică, unde la pornire este nevoie de consumarea unui anumit volum de apă pentru spălare, rezerva de apă demineralizată s-a adoptat de 500—1000 m³ pe bloc.

În aceste condiţii de stoc de rezervă staţiile de tratare s-au dimensionat pentru o utilizare din ce în ce mai intensă, ţinîndu-se cont că în momentele cînd se cere cea mai mare cantitate de apă, debitul necesar va fi produs de toate unităţile, cu intermitenţele de funcţionare datorite regenerărilor.

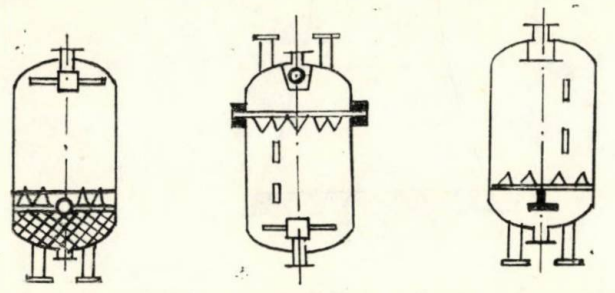
În restul timpului staţiile de tratare funcţionează cu o linie oprită (pentru regenerare sau în rezervă).

Echiparea centralelor cu cazan cu circulaţie forţată unică şi experienţa dobîndită în exploatarea lor au atras după sine decizia de a întrebuinţa tratarea condensatului de bază în proporţie de 100%. Această tratare este făcută în prezent prin filtre cu celuloză sau filtre cationice acide în vederea reţinerii produselor de coroziune şi filtre cu pat mixt. Nu s-au folosit pînă acum filtre cu masă pulverulentă de tip „Powdex", plasate în zone mai ridicate de temperatură.



Denumirea	Decantor static cilindro-conic	Decantor reactor cu şlam în suspensie	Decantor cu recircularea forţată a şlamului*)
Anul	1960	1963	1968
Timp de staţionare	3 h	1,5 h	1 h
Consum de metal pe tona de apă tratată	350—450 kg/m³ · h	200—300kg/m³·h	150—250kg/m³·h
Calitatea apei filtrate (suspensii remanente)	25—50 mg/l	10—25 mg/l	5—15 mg/l

* În curs de proiectare.



Denumirea	Filtru ionic cu colector de drenaj înglobat în beton	Filtru ionic cu placă cu duze şi flanşe	Filtru ionic cu placă cu duze sudată
Anul	1959—1960	1962—1964	1967—1968
Viteza de lucru	5—15 m/h	5—20 m/h	5—35 m/h
Consum de metal pe m² de suprafaţă	1500—2000 kg/m³.h	1300—1500 kg/m³.h	800—900 kg/m³.h

Fig.10. Evoluţia instalaţiilor de tratare a apei

A — apă brută; *B* — reactivi chimici; *C* — apă limpezită; *D* — evacuare şlam.

Şi la centralele de termoficare s-a introdus tratarea condensatului de bază, însă numai selectiv, şi anume, pentru debitul unei singure unităţi — cea mai mare.

În privinţa tehnologiei aplicate, proiectarea a progresat în timp şi a trecut de la scheme cu filtre montate pe grupe la scheme funcţionînd pe linii de tratare, de la regenerarea individuală a filtrelor la cea pe grupe de filtre, de la filtrele clasice cationice şi anionice la folosirea tuturor procedeelor noi realizate de tehnica acestei specialităţi care a avansat rapid în ultimii 20 ani, şi anume: folosirea filtrelor de finisare cu pat mixt, a dezalcalinizării în ciclu neutru, a pretratării cu mase ionice pentru reducerea substanţelor organice, a filtrelor ionice pentru dezoxigenare, recuperarea apelor de spălare prin utilizarea filtrelor carboxilice.

În paralel cu preocuparea pentru îmbunătăţirea procedeelor tehnologice s-au pus la punct şi utilajele instalaţiilor de tratare chimică a apei, unde, de la proiectarea individuală pentru fiecare centrală în parte, s-a trecut în 1964 la întocmirea unui proiect tip pentru toate utilajele staţiilor de tratare. Acestea au şi fost reactualizate şi îmbunătăţite în anii 1967—1968, iar în figura 10 se poate urmări evoluţia concepţiei şi mărirea performanţelor la principalele utilaje.

Semnificativă este şi evoluţia importului la staţiile de tratare care a coborît de la 80—90% în anul 1959—60 (Brazi, Borzeşti, Craiova, Luduş), la 30—45% în 1962—63 (Iaşi, Oradea, Grozăveşti), şi la 25—30% în 1966 (Galaţi, Palas), cu tendinţe de scădere în continuare pe măsura preluării fabricării de filtre cu pat mixt în ţară.

3. Conducerea proceselor

Concepţia instalaţiilor de automatizare a evoluat în directă dependenţă de cerinţele echipamentelor principale, fiind condiţionată de caracteristicile aparaturii disponibile.

În decursul evoluţiei proiectării, s-a parcurs drumul de la conducerea descentralizată (tablouri locale) la conducerea proceselor din camera de comandă, ajungîndu-se în prezent la o treaptă superioară de automatizare şi la introducerea calculatoarelor electronice (fig. 11).

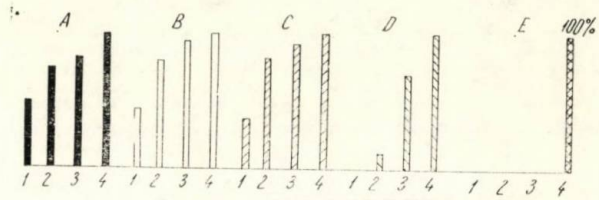


Fig.11. Dependenţa numărului elementelor de automatizare în funcţie de nivelul de automatizare.

A — traductoare; *B* — mecanisme de execuţie; *C* — regulatoare automate; *D* — comenzi automate; *E* — memorie calculator; *1* — tablouri locale (1950—1960); *2* — cameră de comandă şi tablouri locale (1960); *3* — cameră de comandă şi sisteme de comandă automată (1966); *4* — idem, şi calculatoare (1967).

Cerinţele de mărirea siguranţei unor instalaţii tehnologice, devenite mai complexe, şi îmbunătăţirea cerută performanţelor de exploatare au condus la modificări calitative şi cantitative în structura şi principiul sistemelor de protecţie şi reglare.

În decursul proiectării, I.S.P.E. a urmărit să obţină din partea furnizorilor sisteme unitare de automatizare, realizate cu procedee tehnice perfecţionate; acestea se reflectă prin nivelul tehnic al aparaturii date în exploatare (fig. 12).

Performanţele ridicate ale aparaturii au permis realizarea unor scheme de reglare automată, adecvate tipului cazanelor pentru mai mulţi combustibili şi funcţionării blocurilor în regim de putere variabilă.

În figura 13 este prezentată schema de principiu a reglării automate a unui cazan cu circulaţie forţată unică de 640 t/h, 140 ata (Borzeşti), caracterizată prin:

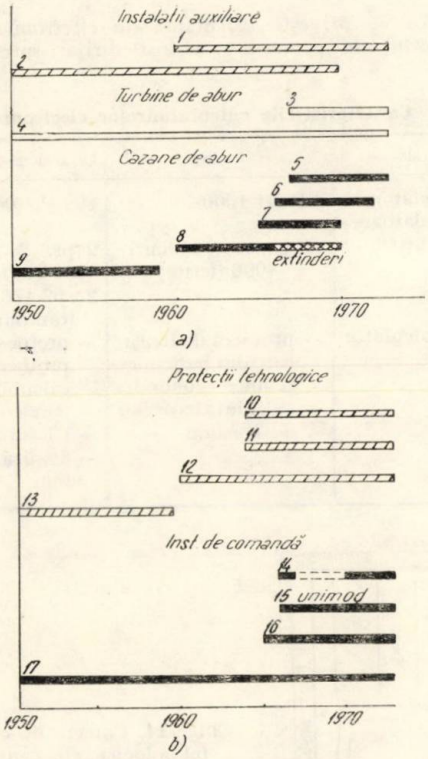


Fig. 12. Evoluția aparaturii de automatizare:

a — regulatoare; *b* — comandă și protecție;

1 — regulatoare electronice; *2* — regulatoare electromecanice (electrice); *3* — regulatoare electrohidraulice; *4* — regulatoare hidraulice; *5* — regulatoare unificate cu circuite imprimate; *6* — regulatoare unificate tranzistorizate; *7* — regulatoare semitranzistorizate; *8* — regulatoare electronice cu tuburi; *9* — regulatoare electromecanice (electrice); *10* — protecție cu redondanță mărită; *11* — protecție de stingerea flăcării; *12* — protecții complexe; *13* — protecții și blocaje simple; *14* — comutație statică; *15* — sisteme modulate unificate; *16* — aparataj de curenți slabi, scheme la alegere; *17* — aparataj de curenți tari.

— reglarea corelată a cazanului și turbinei, unitatea funcțională fiind blocul ;

— extinderea domeniului reglajului la regimuri variate de putere, pînă la nivelul sarcinii minime ;

— stabilizarea automată a principalilor parametri la pornire ;

— intercorelarea complexă a diverșilor parametri.

Complexitatea schemelor a condus la întrebuințarea unor mijloace moderne de calcul în studiul acestora : de exemplu, pentru cazanele de 640 t/h pe cărbune (CTE Deva), s-au modelat pe un calculator analogic (tip MEDA-80-T) buclele de reglare automată a temperaturii aburului supraîncălzit, în vederea determinării schemelor și a corelărilor optime.

Aceasta devine în prezent o metodă curentă de lucru în I.S.P.E., fiind asigurată atît baza materială, cît și metodologia de lucru.

Protecțiile tehnologice au evoluat spre instalații cu funcții complexe, extinse la toate regimurile de funcționare și corelate cu celelalte instalații de automatizare.

Pentru mărirea siguranței de funcționare și a operativității, s-au elaborat în institut scheme complexe de verificări și semnalizări, folosindu-se totodată scheme cu redondanță mărită („două din două", „două din trei", etc., în cazul traductoarelor de siguranță redusă).

Semnificativ pentru nivelul tehnic realizat la instalațiile de protecție este sistemul automat de programare de la blocurile de 315 MW (Craiova), care permite încercarea complexă automată pas cu pas a protecțiilor turbinei cu simularea defectelor la traductoare.

Automatizarea completă (inclusiv tratarea informației și fazele de pornire-oprire) a blocurilor termoenergetice de mare putere constituie o preocupare majoră a proiectării, stabilindu-se următorul punct de vedere pentru etapa actuală :

— considerentele de siguranță, programarea și realizarea constructivă fac indicată realizarea sistemelor de comandă automată sub forma dispozitivelor logice secvențiale, organizate de regulă sub forma grupelor funcționale, calculatoarele electronice fiind prevăzute pentru tratarea informației.

Funcțiile și nivelul tehnic al sistemelor de comandă automată și calculatoarele urmează a fi decise pentru fiecare bloc în parte în funcție de eficiența economică, aparatura, caracteristicile echipamentului.

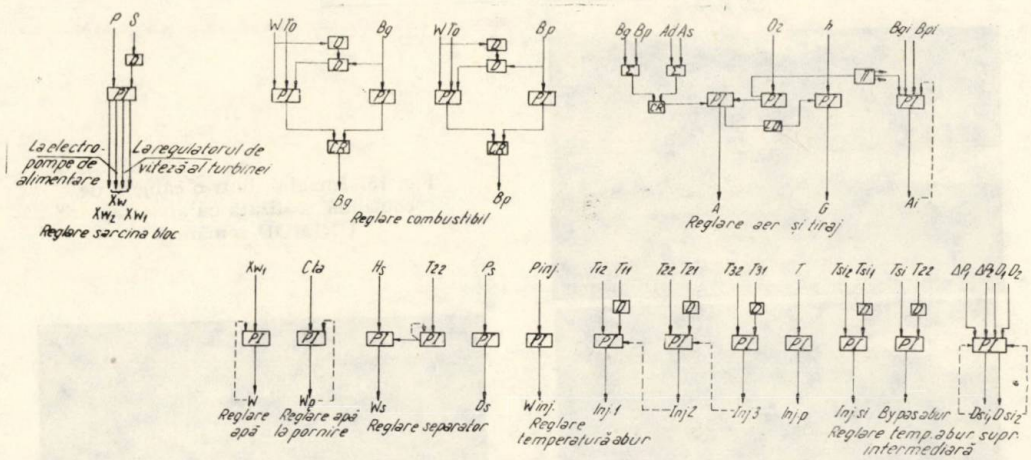


Fig. 13. Schema principială de reglare automată a cazanului de 640 t/h, 140 ata, cu combustibil gaz și păcură:

P — presiune abur supraîncălzit; *S* — poziție ventile reglaj turbină; X_w — semnal de sarcină pentru bloc; $X_{w1,2}$ — idem, pentru corp 1, 2; *W* — debit de apă alimentare; *Bg* — debit gaz natural; *Bp* — debit păcură; *Ad*, *As* — debit aer dreapta, stînga; *A* — debit aer total; O_2 — conținut O_2 în gazele de ardere; *Bgi*, *Bpi*, *Ai* — debit gaz, păcură, aer la arzătorul *i*; *h* — depresiune în focar; *G* — debit gaze de ardere; *Wp* — debit apă pornire; *Hs* — nivel separator pornire; *Ws* — debit condensat separator; *Ps* — presiune abur la separator; *Ds* — debit abur spre separator; *Pinj* — presiune apă injecție; *Winj* — apă injecție; *Inj*. 1, 2, 3 — debit apă injecție 1, 2, 3; *Inj.si* — debit apă injecție supraîncălzitor intermediar; *Inj.p* — debit apă injecție pornire; $D_{1,2}$ — debit abur corp 1, 2; $\Delta P_{1,2}$ — cădere de presiune pe supraîncălzitorul 1, 2; $Dsi_{1,2}$ — debit abur supraîncălzire intermediară 1, 2; *T* — temperatură abur supraîncălzit; T_{32} — temperatură abur după supraîncălzitorul convectiv II; T_{31} — temperatură abur înaintea supraîncălzitorului convectiv II; T_{21} — temperatură abur înaintea zonei superioare de radiație II; T_{22} — temperatură abur după zona superioară de radiație II; T_{11} — temperatură abur înaintea zonei medii de radiație II; T_{12} — temperatură abur după zona medie de radiație II; T_0 — temperatură abur după zona medie de radiație I; Tsi_2 — temperatură abur supraîncălzitor intermediar; Tsi_1 — temperatură abur supraîncălzitor intermediar înaintea supraîncălzitorului convectiv; *PI* — reg. proporțional-integral; *D* — diferențiator; *CR* — comutator de regim; *LD* — impuls de anticipare; Π — element de multiplicare; Σ — sumator.

În tabela 5 sînt prezentate cîteva exemple de centrale echipate cu sisteme de comandă automată.

Tabela 5

Sisteme de comandă automată

Unitate 50 MW Brazi	Bloc 100 MW Sîngeorgiu	Bloc 315 MW Craiova
— Electropompe de alimentare	— Arzătoare — Aerisire focar — Electropompe de alimentare — Condensat	— Turbina — Vidul — Gospodăria de ulei şi virorul — Condensat — Electropompe de alimentare — Turbopompă de alimentare — Arzătoare de gaze

În ceea ce priveşte calculatoarele electronice, în prezent efortul de proiectare a fost dirijat spre definirea

Tabela 6

Caracteristicile calculatoarelor electronice

Centrala	Luduş	Craiova 2 + × 315 MW
Tip calculator	ARCH-1000	P.S.P.-100
Nr. calculatoare şi unităţi	1 pentru 6 blocuri	2 pt. 2 blocuri
Memorie calculatoare	4096 (ferite)	4096 cuvinte (ferite) 2×32 178 cuvinte (tambur)
Funcţii calculator	— protocol de lucru — calculul indicilor tehnico-economici — calculul abaterilor de consum	— protocol de lucru — protocol de avarie — calculul indicilori tehnico-economic — contorizare — analiză post-mortem

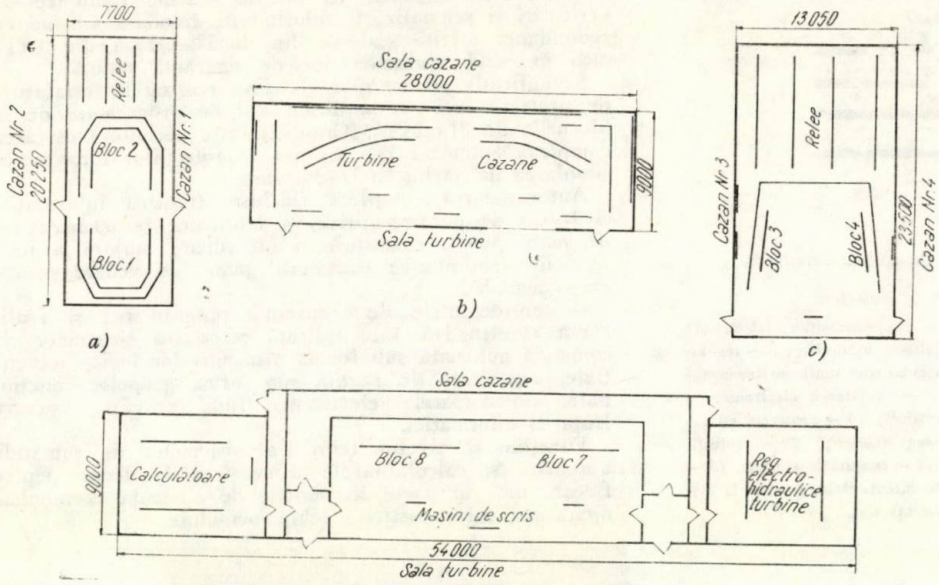
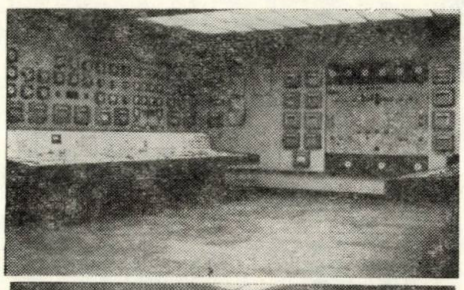


Fig. 14. Camere de comandă tehnologice ale centralelor termoelectrice din România:

a — CTE Luduş (condensaţie) — 1964, 2 × 100 MW; *b* — CET Borzeşti (termoficare) — 1960, 3 × 420 t/h, 3×50 MW; *c* — CET Bucureşti-Sud (termoficare) — 1967, 2×400 t/h, 2 × 100 MW; *d* — CET Craiova (condensaţie) — 1967, 2×315 MW



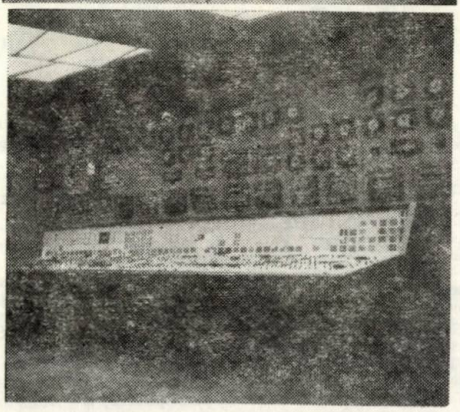
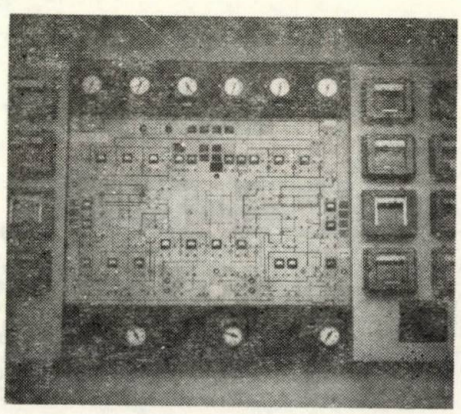


Fig. 15. Imagini dintr-o cameră de comandă realizată cu aparataj UNIMOD românesc



cît mai exactă a funcţiilor şi algoritmelor, precum şi a utilizării cît mai raţionale a capacităţii calculatoarelor. În prezent sînt în funcţiune calculatoare electronice pentru tratarea informaţiei la două centrale din ţară, cu caracteristicile prezentate în tabela 6.

La proiectarea camerelor de comandă s-au avut în vedere în permanenţă aspectele privind eficienţa centralizării şi siguranţa conducerii. În prezent, în camerele de comandă sînt concentrate instalaţiile de automatizare numai pentru două blocuri (în perioada de început numărul instalaţiilor era de 3—4), ceea ce permite o rezolvare satisfăcătoare a amplasării în centrul de greutate al instalaţiilor, reducerii lungimii cablurilor, siguranţei, precum şi a dispoziţiei funcţionale a tablourilor de comandă.

În figura 14 sînt prezentate camerele de comandă de la cîteva centrale, caracteristice pentru evoluţia concepţiei de proiectare.

La proiectarea dispoziţiei funcţionale a tablourilor, precum şi a aparatelor şi dispozitivelor de comandă s-a urmărit asigurarea celor mai bune condiţii dialogului „operator-instalaţie automatizată".

O etapă hotărîtoare în această privinţă (fig. 14) reprezintă introducerea sistemului UNIMOD (realizat în colaborare de I.S.P.E. cu I.I.S. Automatica) în confecţionarea panourilor şi pupitrelor de comandă. Caracteristicile principale ale sistemului sînt următoarele :

— elemente modulate funcţionale de dimensiuni reduse (casete) debroşabile, pentru construcţia pupitrelor şi panourilor ;

— unităţi funcţionale (sertare) debroşabile (pentru comanda diverselor elemente : motoare, vane, regulatoare etc), pentru construcţia dulapurilor cu relee ;

— folosirea tensiunilor intermediare (24 V) pentru comandă şi semnalizare ;

— folosirea repartitorului ca element de legătură între camera de comandă şi instalaţie.

În figura 15 sînt prezentate imagini din realizarea unor camere de comandă cu tehnica UNIMOD.

În paralel cu aspectele tehnice, o atenţie crescîndă s-a acordat aspectelor ergonomice în construcţia camerelor de comandă (vedere spre sala maşinilor, culoarea, particularităţile operatorului ca element de decizie etc.). În prezent se fac cercetări împreună cu Institutul de Psihologie la o serie de camere de comandă, pentru determinarea cantitativă a diverse aspecte în comportarea operatorului.

La proiectarea automatizării instalaţiilor auxiliare s-au avut în vedere particularităţile şi oportunitatea acestora, de exemplu : la instalaţiile de tratare chimică se consideră că automatizarea regenerării filtrelor (în cazul în care se justifică) se realizează cu elemente de execuţie pneumatice.

4. Probleme de construcţii

4.1. *Soluţii constructive.* Soluţiile constructive adoptate la centralele termoelectrice au evoluat în funcţie de anumite caracteristici ale factorilor economici, de conjunctură, de tratare tehnico-materială. Ca urmare a acestor influenţe, se pot distinge unele etape de dezvoltare care, chiar dacă nu marchează epoci bine distincte (existînd evident unele interpătrunderi între perioade), totuşi conturează anumite concepţii şi idei directoare.

În tabela 7 s-au concentrat principalele caracteristici care influenţează modul de soluţionare a construcţiilor termoenergetice pe cele trei perioade, precum şi consecinţele acestor caracteristici asupra soluţionărilor. În ceea ce priveşte consecinţele, s-au reliefat trei aspecte care caracterizează concepţia soluţiilor constructive :

— dispoziţia în planul general ;
— soluţia contructivă a structurilor ;
— soluţii în ceea ce priveşte închiderile clădirilor.

Ca o ilustrare a evoluţiei de la o etapă la alta, care în total este prezentată doar calitativ, se pot cita unii indici.

Sistemul pavilionar caracteristic perioadei 1949—1955 a condus la un indice de folosire a terenului la centralele pe cărbune de 2080 m²/MW la Doiceşti, faţă de 1390 m²/MW la Craiova (perioada 1962—1967) şi la cele pe gaze de 710 m²/MW la Sîngiorgiu, faţă de 570 m²/MW la Brazi (perioada 1956—1961).

În ceea ce priveşte soluţiile constructive, arătate în mod sintetic în tabela 7, ele au prezentat anumite evoluţii sau diversificări chiar în cadrul perioadelor amintite, sau între perioade, după cum e vorba de centrale de tip industrial, centrale termoelectrice de condensaţie sau termoficare de putere mare, sau de anumite obiecte caracteristice din complexul de construcţii al centralelor.

Merită atenţie unele categorii de lucrări, ca, de exemplu, clădirea principală, unele clădiri auxiliare, coşurile de fum, turnurile de răcire, în soluţionarea cărora se poate distinge o anumită evoluţie a concepţiei de proiectare.

Din analiza modului în care a evoluat concepţia de proiectare a construcţiilor termoenergetice rezultă în mod evident tendinţa spre atingerea a două scopuri : uniformizarea soluţiilor şi industrializarea construcţiilor.

Totuşi, această conturare nu s-a făcut simţită ca în alte domenii ale construcţiilor industriale sau socialculturale, mai ales în perioadele 1949—1955 şi 1956—1961. Aceasta se poate explica prin faptul că diversitatea foarte mare a utilajelor ce au alcătuit profilul unităţilor energetice, precum şi dependenţa foarte strînsă între construcţie şi echipament au dus la dificultăţi mari în fixarea unei linii consecvente de tipizare sau de abordare a unor soluţii de industrializare masivă.

În perioada din urmă se remarcă aspecte pronunţate de industrializare a execuţiei construcţiilor şi de fixarea unei linii unitare în ceea ce priveşte proiectarea unor obiective. Dacă ne referim la unele domenii din ansamblul proiectării construcţiilor se poate constata o evoluţie calitativă.

Astfel, în domeniul fundaţiilor de maşini problemele teoretice au fost abordate astfel încît au condus la rezultate practice remarcabile.

A fost fundamentată teoretic şi aplicată practic tratarea rigidităţii radierelor a căror grosime nu mai este considerată ca avînd limitări constructive. În proiectele elaborate s-a fundamentat ideea introducerii măsurilor pentru modificarea interioară a acordării în funcţie de comportarea fundaţiei în exploatare ; au apărut într-un volum din ce în ce mai mare fundaţiile cu structuri subacordate.

Un domeniu nou care a intrat în atenţia proiectantului constructor este preocuparea în problema coroziunii construcţiilor. În această problemă există soluţionări judicioase şi cu un grad de siguranţă ridicat, problema dificilă rămînînd însă rezolvarea soluţiilor cu ajutorul materialelor produse în ţară.

Arhitectura construcţiilor termoenergetice este un domeniu al arhitecturii industriale mai dificile, ţinînd seama de utilitarismul strict al construcţiilor şi dificultatea de a exprima în forma construcţiilor funcţiunea tehnologică. Ceea ce îngreunează, de asemenea, rezolvările arhitectonice este inexistenţa unor materiale de construcţie adecvate şi finisaj corespunzător.

Totuşi, centralele termoelectrice proiectate şi realizate prezintă, din punct de vedere constructiv şi al aspectului, realizări remarcabile, în care predomină liniile şi dimensiunile impuse de utilajele tehnologice şi în special de cazan. În cadrul preocupărilor de arhitectură este de remarcat problema vitrării faţadei sălii maşinilor, legată de limitarea radiaţiei solare şi a ameliorării ventilaţiei.

4.2. *Probleme de dispoziţie în clădirea principală.* Dispoziţia echipamentului în clădirea principală marchează, în decursul anilor, efortul de a obţine economii de investiţie simultan cu soluţii care să ofere condiţii uşoare

Tabela 7

Evoluția unor soluții constructive ale centralelor electrice din România

	Clădirea principală		Clădiri auxiliare	Coșuri de fum	Turnuri de răcire
	Centrale industriale	CTE sau CET republicane			
1949—1955	— puțin dezvoltate (necaracteristice)	— cadre multiple de b.a. monolit cu planșee monolit, în cofraje și eșafodaje fixe — schelet b. a. monolit și ferme metalice la sălile de mașini și cazane	— zidării portante planșee b.a. monolit — structuri b.a. monolit în cofraje fixe	— înălțimi 80—120 m — sist. constructiv clavouri prefabric. tip Monoyer — fundații radier placă circulară — fără protecții anticorosive	— tip hiperbolic cu tiraj natural — sist. constructiv monolit în cofraje deplasabile și eșafodaj fix
1956—1961	— comasare accentuată — uniformizare — sistem constructiv prefabricate de bebeton de tip industrial și preturnate	— schelet b.a. monolit cu ferme metalice la sălile de mașini și cazane — săli cazane cu structură metalică rezemată pe scheletul cazanului — elemente prefabricate de volum redus	— tendințe de comasare — schelet din b.a. prefabricat — schelet din b.a. monolit	— înălțimi 80—160 m — sist. constructiv clavouri prefabricate și monolit în cofraje glisante — fundații placă continuă sau secțiune inelară lipsa protecțiilor anticorosive	— tip hiperbolic cu tiraj natural și tip celular cu tiraj artificial — sistem constructiv monolit în cofraje deplasabile sau elemente prefabr. preturnate
1962—1968	— pondere mai redusă în ansamblul puterii instalate — aceleași caracteristici ca în epoca anterioară	— schelet b.a. din prefabricate grele — schelet b.a. în cofraje glisante sau în sist. mixt (o centrală cu schelet metalic) — panouri prefabricate pentru fațade	— tendințe de uniformizare — preocupare pt. protecția anticorosivă — schelet b.a. monolit sau prefabricat	— înălțimi 100-250m — sistem constructiv monolit în cofraje glisante — fundații coroană circulară — atenție mare protecțiilor anticorosive	— tip hiperbolic sau cilindric de mare capacitate, cu tiraj artificial — sistem constructiv monolit în cofraje pășitoare

și sigure de exploatare și o ușurare a structurilor de rezistență.

Inițial, în timpul primului plan cincinal, s-au adoptat dispozițiile propuse de furnizorii de echipament, și în special dispoziția cu axul grupurilor în lungul sălii mașinilor.

O dată cu aplicarea schemelor bloc la centralele de condensație s-a dovedit rațională întrebuințarea soluției cu grupurile dispuse transversal, aplicată la Luduș, Craiova și București-sud, ceea ce divizează practic centrala în tranșe independente în interiorul cărora lungimea frontului ocupat de cazan și instalațiile sale coincide cu cea ocupată de turbină. Astfel se evită diferențele între lungimile sălilor de mașini și cazane, inevitabile la instalațiile cu unitățile dispuse în lung.

Cu toate acestea, în perioada anilor 1964—1967, cînd o serie de instalații au fost extinse cu blocuri de putere mai mare, din motive de păstrare a unității sălii

Tabela 8

Dispoziția grupurilor în sala mașinilor a CTE și CET din România

Perioada de instalare		1953—1960		1960—1965		1965—1968		proiecte după 1968	
Puterea unitară	MW	20	12,25 și 50	50 și 100	150	200 și 315	12 și 50	200 și 300	50—100
Număr de grupuri prevăzut în centrală		6	3—5	4—6	1	2	2—3	4—6 (2)	2—4
Felul dispoziției grupului și număr de cazuri	longitudinal	—	8	—	—	3	2	—	—
	transversal	1	—	3	1	—	—	4	4
Felul investiției și număr de cazuri	nouă	1	7	3	—	—	2	3	4
	extindere	—	1	—	1	3	—	1	—
Tipul centralei și număr de cazuri	CTE	1	4	2	1	3	—	4	—
	CET	—	4	1	—	—	2	—	4

de mașini, turbinele au fost așezate longitudinal (Luduș-extindere, Craiova-extindere).

Situația de ansamblu a așezării turbinelor în sală se poate urmări în tabela 8.

O a doua preocupare de bază a fost gruparea serviciilor interne, a stațiilor electrice pentru consumul propriu, a camerelor de comandă și a degazoarelor cu rezervoarele lor de apă de alimentare.

Caracteristică în această privință a fost situația unora din centralele cu combustibil gazos, la care frontul cazanului fiind mai scurt decît cel ocupat de turbină a permis plasarea grupului de funcțiuni amintit între cazane (Luduș, blocurile 200 MW Borzești, București-sud, extindere Sîngeorgiu). Soluția se regăsește ca tendință și în țara noastră și în alte țări, pentru situații similare.

O dată însă cu trecerea la cazane de tip exterior sau de interior-modern, după ample studii, corpul serviciilor interne a revenit la așezarea lui clasică, paralel cu sala mașinilor, ceea ce permite totodată să se amelioreze schema statică a sălii mașinilor, care devine mai rezistentă la cutremur, să se realizeze o construcție a camerei de comandă cu perete vitrat și legătură vizuală spre mașini și să se plaseze cu mai multă comoditate diferitele conducte colectoare și noduri de abur necesare în schema centralelor de termoficare.

Uniformizarea soluțiilor care se dezvoltă în paralel cu asimilarea în țară a unor anumite tipuri de turbine și cazane a condus la preocuparea perfecționării dispoziției prin folosirea de modele de proiectare și la tipizarea concluziilor.

În această privință s-a creat o soluție modulată pentru centralele de termoficare prevăzute cu grupuri cu condensație și priză reglabilă de 50 și 100 MW. Macheta unui modul al sălii mașinilor se arată în figura 16.

Modulele au o lungime egală pentru cazane și turbine (cu dispoziție transversală), iar o centrală se poate realiza din numărul dorit de module, păstrînd la extremități travei marginale speciale.

Pentru centralele de condensație cu grupuri de 300 MW și cazane exterioare tip turn susținute pe piloni din beton armat s-a studiat, de asemenea, un model, arătat în figura 17. Aci, dat fiind noțiunea de perechi, impusă de construcția cazanului, modulul cuprinde o tranșă de două blocuri care formează o unitate independentă.

Adîncimea proiectării pe model a dat posibilitatea să se rezolve și cerințele accentuate în ultimul timp privitoare la siguranță, la protecția contra incendiului, la

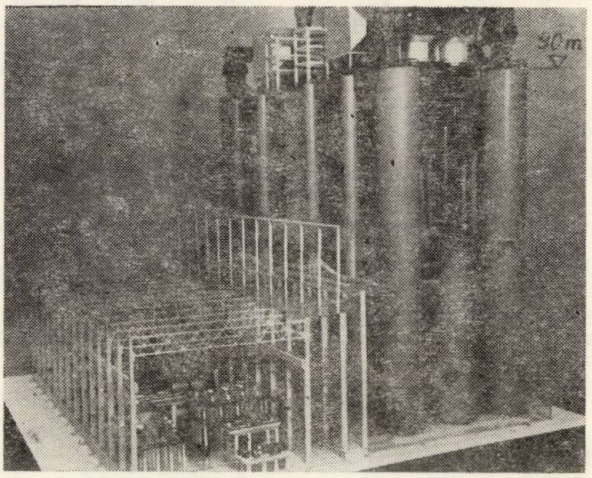


Fig.17. Macheta unei centrale de condensație pe lignit, cu grupuri de 330 MW și cazane de 1000 t/h.

mecanizarea întreținerilor și la simplificarea exploatării.

Toate aceste deziderate sînt urmărite la scara modelului, unde se pot verifica spațiile de acces și de circulație, zonele de siguranță, concentrațiile și intersecțiile de conducte și evitarea plasării traseelor de cabluri în aceste locuri, repartiția pieselor mari la reparații.

De remarcat, în legătură cu dispoziția, progresul în privința stabilirii ipotezelor de încărcare pentru partea de construcție și evaluarea realistă a sarcinilor statice și dinamice posibile, acțiune care are ca efect reducerea costului construcției.

5. *Probleme actuale.* Ideile directoare care stau la baza activității prezente de proiectare în I.S.P.E. s-au axat pe asigurarea introducerii continue a progresului tehnic în concepția centralelor termoelectrice, atît din punctul de vedere al performanțelor tehnice, cît și al reducerii costurilor specifice de investiții și al măririi siguranței de funcționare.

Fiecare din aceste principii se concretizează printr-un domeniu larg de prevederi și de măsuri tehnice în proiectele elaborate.

Astfel, mărirea performanțelor tehnico-economice este sintetizată prin reducerea consecventă a consumului specific de combustibil, ajuns azi la o valoare comparabilă

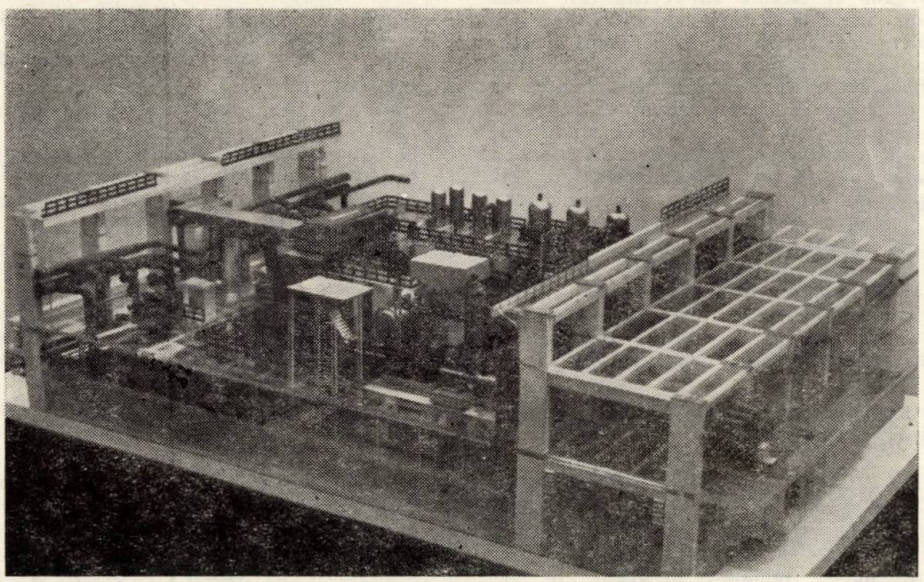


Fig.16. Macheta unui modul al sălii mașinilor pentru centralele de termoficare.

cu realizările din țările dezvoltate ale lumii. Reducerea costurilor specifice de investiții își are sursa în concepția judicioasă a planurilor generale ale centralelor, în dispoziția optimă a echipamentelor, în reducerea volumelor construite, în amplasarea cît mai mult în aer liber a echipamentelor, în optimizarea multor soluții de proiectare, în reducerea rezervelor fără prejudicierea siguranței de funcționare, în mărirea gradului de industrializare a execuției lucrărilor, în preocuparea pentru reducerea costului echipamentelor importate.

Siguranța în funcționarea centralelor termoelectrice este concepută prin adîncirea ideii blocului energetic, prin alegerea unor echipamente verificate în exploatare, prin dimensionarea coordonată a rezervelor, prin asigurarea unor măsuri fundamentale de securitate, cum ar fi demineralizarea totală a apei de adaos, tratarea integrală a condensatului principal, degazarea avansată a apei de alimentare. De asemenea, s-a urmărit ca prin dezvoltarea instalațiilor de automatizare, acestea să preia multe din atribuțiile operatorului, asigurînd astfel evitarea unor greșeli de manevră și, respectiv, o ușurare a muncii acestor operatori.

Fără îndoială că, pentru viitor, respectarea acestor principii fundamentale în activitatea de proiectare, coroborată cu introducerea continuă a perfecționărilor tehnice inerente procesului tehnologic și echipamentelor centralelor termoelectrice, va asigura menținerea acestora în rîndul centralelor moderne ale lumii industriale.

Rezultatele vor fi cu atît mai bune cu cît și profilul final, respectiv tipurile echipamentelor, va deveni element fix al centralelor considerate.

Contribuții la dezvoltarea termoficării în R. S. România

Prof. ing. **I. D. Stăncescu**, ing. **D. Rențea**, ing. **M. Voinea**, ing. **E. Bran**, ing. **N. Niculescu**, ing. **N. David**

Dezvoltarea rapidă și multilaterală a industriei și a construcțiilor de locuințe în țara noastră a făcut ca, în cei 20 de ani de la înființare, I.S.P.E. să aibă preocupări deosebite în ceea ce privește rezolvarea problemelor complexe de alimentare cu căldură și energie electrică a obiectivelor industriale și a consumatorilor urbani.

Obiectul acestei prezentări este de a trece în revistă, din punct de vedere al contribuției proiectării, lucrările mai importante și evoluția de ansamblu a termoficării în țara noastră în ultimii 20 de ani.

În acest interval, se pot distinge în dezvoltarea termoficării două etape caracteristice :

— Etapa 1950—1960, în care a avut loc pregătirea și elaborarea bazelor tehnice și economice pentru introducerea și dezvoltarea organizată a termoficării ;

— Etapa 1960—1970, care reprezintă o etapă de realizare pe scară mare a unui program de termoficare comportînd variate și importante lucrări în acest domeniu.

După prezentarea situației termoficării înaintea perioadei examinate, vor fi trecute în revistă cele două etape caracteristice, scoțîndu-se în evidență atît dezvoltarea instalațiilor de termoficare și evoluția caracteristicilor tehnice, cît și efectele economice, în special economia de combustibil realizată prin termoficare, ca principal element economic al acestei acțiuni.

Legat de această prezentare se vor releva studiile și preocupările care au condus la cristalizarea treptată a unei concepții unitare în dezvoltarea sistemelor de termoficare și a aportului important adus în proiectarea de ansamblu și detaliu a unui mare număr de instalații de termoficare industrială și urbană. În încheiere se va încerca să se desprindă perspectivele de dezvoltare imediată și de mai lungă durată.

1. Situația termoficării în România pînă în 1950

După naționalizarea principalelor mijloace de producție, situația centralelor de termoficare în România era următoarea :

Puterea instalată totală era de circa 90 MW, ceea ce reprezenta 12,4% din puterea electrică totală instalată în țară, iar producția de energie electrică însuma circa 360 GWh, reprezentînd 24% din producția totală pe țară, din care aproximativ jumătate în regim de termoficare.

Centralele de termoficare cu puteri mai mari de 5 MW erau în număr de 6, restul erau de puteri mici, echipate în principal cu grupuri de contrapresiune și mașini de abur cu piston. Grupul cu puterea unitară cea mai mare era de 4,5 MW (Fabrica de hîrtie Bacău).

Centralele erau echipate cu cazane de abur cu parametrii medii (22—35 ata și 375—420°C) și parametrii inferiori (18—16 ata). Excepție făceau cele două grupuri de termoficare înaintașe de la Bușteni și Bacău care aveau parametrii aburului la intrare 120 ata și 475°C.

În exclusivitate, centralele de termoficare erau concepute și folosite strict pentru nevoile întreprinderilor și foloseau drept combustibil gaze naturale și, într-o proporție mai redusă, păcură.

Cota relativ ridicată deținută în totalul energiei electrice produse se explică prin durata mare de utilizare anuală a acestor centrale industriale în raport cu centralele electrice publice, în genere puțin importante și cu indici de utilizare reduși.

2. Etapa de studii, pregătire și prime începuturi în introducerea termoficării în țara noastră

Primele preocupări sistematice pentru introducerea și dezvoltarea termoficării în țara noastră au apărut cu ocazia primului plan cincinal, pe perioada 1950—1955, care a trasat liniile directoare în această privință.

Acest plan cincinal, împreună cu cel următor, au constituit etapa în care, prin cercetările și studiile efectuate, cît și prin verificările practice făcute, s-au pus bazele termoficării în țara noastră.

Problemele care se puneau erau în principal următoarele :

— adîncirea, pînă la ultimele consecințe asupra economici naționale, a efectelor complexe ale unei economii de combustibili realizabile pe scară mare prin termoficare, în condițiile resurselor noastre energetice primare limitate și a lignitilor inferiori scumpi și chiar a unui eventual import de combustibil la care mai trebuie făcut apel, pentru a echilibra balanța noastră energetică în viitor ; aceste condiții plasează limita superioară economică a efortului de investiții încă de admis pentru a economisi combustibili la noi la un nivel mult superior plafonului corespunzător din mai toate celelalte țări ;

— cercetarea naturii, mărimii și variației necesarului de căldură care poate fi acoperit prin termoficare industrială și urbană ;

— lămurirea dacă, în cazul existenței sau al posibilității de realizare a unei rețele urbane de distribuție de gaze naturale sau în cazul folosirii de combustibil lichid pentru încălzire, termoficarea urbană este oportună din punct de vedere tehnic și economic în condițiile climatice și de construcție din orașele noastre ;

— stabilirea condițiilor teoretice și a cadrului de aplicare a termoficării în țara noastră, pentru care în I.S.P.E., prin studii teoretice și practice, s-au stabilit elementele de bază ale consumului de încălzire, respectiv s-au determinat caracteristicile termice ale construcțiilor vechi și noi, indicii de consum de apă caldă, precum și elementele de bază ale sistemului de termoficare, cum ar fi: coeficientul orar de termoficare optim, parametrii optimi ai rețelelor de termoficare, gradul de siguranță în alimentarea consumatorilor etc.

Pe lîngă studierea și rezolvarea acestor probleme fundamentale la care într-o fază inițială au contribuit și lucrările întocmite în cadrul Institutului de Energetică al Academiei R. S. România, au trebuit să fie efectuate studii curente legate de cazurile concrete a căror soluție trebuia dată în timpul, de obicei scurt, impus de termenele de intrare în producție a consumatorilor respectivi. Aceste studii au avut de tratat mai ales:

— rezolvarea simultană a unor cereri importante de căldură și energie electrică datorate extinderii unor industrii sau apariției unor noi ansambluri industriale, cu procese tehnologice necesitînd cantități mari de căldură;

— raționalizarea consumului de combustibil din anumite zone în care acesta era utilizat cu randamente de transformare foarte reduse și adoptarea de soluții care să conducă la solicitarea minimă a resurselor de combustibil.

Examinările concrete au condus la următoarele rezolvări practice imediate:

— introducerea termoficării în acele centre în care, pe de o parte, existau consumatori de căldură industriali și un program de construcții de locuințe în curs, iar, pe de altă parte, a existat posibilitatea de instalare de grupuri de termoficare în centrale existente, cum au fost Reșița, Grozăvești, Hunedoara;

— concentrarea consumatorilor industriali pe platforme în apropiere de orașe, conducînd la o alimentare combinată cu energie electrică și căldură din centrale de termoficare, care, la consumurile importante rezultate, puteau fi echipate cu grupuri cu puteri unitare mari și parametri ridicați. Cea mai reprezentativă realizare de acest fel este CET Borzești.

Pe lîngă utilizarea în aceste etape a echipamentelor energetice cu puteri unitare mici fabricate în țară, s-a trecut imediat la obținerea din import de echipamente cu puteri mai mari și performanțe superioare care să mărească eficiența soluțiilor de termoficare. Tot în această etapă s-au efectuat primele studii pentru asimilarea fabricării în țară de echipamente energetice la nivelul tehnicii mondiale, în vederea asigurării din timp a bazei materiale pentru viitor.

Datele caracteristice ale evoluției termoficării în perioada 1950—1960 sînt prezentate în tabela 1.

În această etapă, cele mai multe centrale au fost realizate cu grupuri de 3—6 MW fabricate în țară cu parametrii aburului 35 at și 435°C, precum și grupuri din import la aceiași parametri.

Tabela 1

Datele caracteristice ale evoluției termoficării în perioada 1950—1960

	1950	1960
— Puterea instalată în CET, MW	127	472
— Căldura livrată din CET, Tcal/an	1800	8500
— Puterea unitară maximă și parametrii aburului, MW, grupurilor de termoficare, at/°C	4,5 35/420	25 100/510
— Lungimea rețelelor de termoficare, km	—	12,2
— Diametrul maxim al conductelor de termoficare, mm	—	500

În cea mai mare centrală de termoficare realizată în această perioadă, CET Borzești, pînă în anul 1960 au fost instalate trei grupuri de termoficare de cîte 25 MW, din care două cu condensație și priză reglabilă și unul cu contrapresiune, avînd parametrii aburului viu de 100 at și 510°C.

Datorită consumului de căldură preponderent tehnologic și din cauza puterii și parametrilor unitari reduși ai grupurilor care ar fi condus la consumuri specifice de căldură foarte ridicate în condensație, în majoritatea centralelor mici s-au instalat grupuri cu contrapresiune.

În anii 1959 și 1960 au fost realizate primele rețele de termoficare urbană, la început cu caracter experimental, ca de exemplu rețeaua din zona Grozăvești, alimentată din CET Grozăvești, agentul termic fiind apa fierbinte cu parametrii de 130/70°C.

În anul 1959 a fost pusă în funcțiune rețeaua de termoficare urbană din orașul Hunedoara, proiectată pentru 150/70°C și exploatată inițial la 130/70°C, precum și rețeaua de termoficare din orașul Onești, cea mai lungă rețea realizată în acea perioadă (circa 6 km) care a funcționat încă de la început cu parametrii 150/70°C.

Din perioada 1950—1960, care a constituit perioada în care ca urmare a cercetărilor și experimentărilor s-a cristalizat o concepție proprie unitară și în ceea ce privește termoficarea și încadrarea ei în condițiile din țara noastră, au ieșit în evidență următoarele aspecte:

a) Consumurile de căldură industriale ale obiectivelor noi (în special în industriile din ramura chimică și petrolieră) au prezentat în general evoluții diferite față de cele anunțate sau prevăzute în proiecte. În majoritatea cazurilor dezvoltarea consumului a avut loc într-un ritm mai lent, cifrele de proiectare realizîndu-se în cele mai multe cazuri cu un decalaj de timp.

b) Schemele termice și echipamentul centralelor noi de termoficare, în această perioadă, au scos în evidență că pentru realizarea unei elasticități maxime în exploatare primele grupuri instalate în centrale de termoficare cu puteri electrice importante este indicat să fie cu condensație și prize reglabile.

În centralele de termoficare mari, turbinele cu contrapresiune a căror încercare la plină sarcină și economicitate depind de realizarea consumului de căldură industrială este bine să apară ca a treia sau a patra unitate.

c) În cea mai mare parte din cazuri s-a dovedit că returnarea condensatului aburului tehnologic nu corespunde indicațiilor inițiale ale consumatorilor, ceea ce a făcut ca la multe centrale să se amplifice peste prevederi instalația de tratare a apei de adaos a cazanelor. De aici necesitatea ca, pentru centralele noi destinate alimentării cu căldură a consumatorilor industriali care nu returnează decît cote mici de condensat, să se examineze comparativ și instalarea de transformatori de abur.

d) Atît pentru consumatorii industriali, cît și pentru consumatorii urbani, a rezultat că necesarul de căldură pentru încălzire este indicat să fie acoperit folosindu-se scheme comune avînd ca agent termic apa fierbinte cu temperatura 150/70°C.

e) Ca scheme de rețele de termoficare a rezultat că pentru zone industriale relativ restrînse și cu consumuri de căldură reduse este indicată adoptarea schemelor radiale, soluție de preferat în principiu în toate rețelele de termoficare urbană.

Ca așezare a conductelor, cea aeriană conduce la investiții mai reduse, cu pînă la 30% față de investițiile necesare în cazul amplasării subterane a conductelor, ceea ce a făcut ca traseele subterane să se limiteze la porțiunile din interiorul orașelor.

Ca o concluzie a acestei prime perioade, a rezultat că termoficarea constituie o acțiune foarte interesantă, din punct de vedere economic, tehnic și social, pentru condițiile din țara noastră, însă că, pentru a le dezvolta cu cea mai mare eficacitate, soluțiile de aplicare trebuie încadrate în concepția de ansamblu cristalizată între timp și care consideră necesară realizarea lucrărilor în mod unitar în cadrul sistemului de termoficare respectiv, a cărui sursă sau surse de căldură, CET, sînt

în același timp importante surse și puncte de sprijin ale sistemului electroenergetic. Reiese din acest punct de vedere că, în primul rînd, ea trebuie dezvoltată pe linia realizării de centrale de termoficare puternice, echipate cu grupuri de puteri unitare mari (50 MW și 100 MW) și cu parametrii aburului ridicați.

Centralele de termoficare cu grupuri de puteri mici și parametri reduși rămîn ca soluții de adoptat pentru situații locale în care procesele tehnologice pun la dispoziție resurse energetice secundare care nu pot fi valorificate decît în acest scop, sau în cazuri speciale în care eficacitatea economică a CET este corespunzător justificată.

3. Etapa de largă dezvoltare a termoficării

Perioada care a urmat anului 1960, respectiv perioada planului șesenal 1960—1965 și pînă în prezent, a constituit perioada de dezvoltare pe scară mare a termoficării, atît industriale cît și urbane.

Posibilitatea oferită de condițiile economice socialiste de a urmări și prin prisma avantajelor energetice o amplasare sau grupare rațională a noilor industrii mari consumatoare de căldură și energie electrică a constituit un factor favorabil pentru alegerea soluțiilor celor mai indicate și realizarea unor CET puternice, cu indici tehnico-economici avantajoși.

Fundamentîndu-se pe concluziile perioadei de pregătire a introducerii termoficării, în această nouă etapă s-au construit centrale de termoficare în cele mai importante centre populate și cu industrii puternice, existente sau în curs de dezvoltare, centre care în același timp prezentau și condiții optime pentru alimentarea cu căldură a consumatorilor urbani.

Au fost astfel realizate CET Brazi, CET București-Sud, CET Iași și CET Oradea și alte centrale electrice de termoficare funcționînd la parametri ridicați ai aburului, deservind cu căldură zone industriale și consumatori urbani.

Una dintre cele mai interesante lucrări de termoficare, a cărei concepție și profil s-au cristalizat la I.S.P.E., în această perioadă este sistemul de termoficare din zona Ploiești Sud-Brazi, alimentat din CET Brazi.

Ideea de bază a concepției sale a fost aceea de a alimenta atît rafinăria existentă de la Brazi și Combinatul Petrochimic ce se realiza pe acel amplasament, cît și consumul rafinăriilor din zona de sud a orașului Ploiești, precum și orașul însuși, dintr-o singură mare și economică sursă de căldură. Aceasta necesită însă un important transport de abur pe o distanță 5,5 km, nerealizat la o asemenea amploare. Pe baza unor calcule tehnice și economice îngrijite, verificate riguros ulterior de practică, s-a putut demonstra și susține, în opoziție cu părerea specialiștilor Ministerului Petrolului și Chimiei care cereau atunci două centrale separate, oportunitatea unui singur sistem de termoficare pentru această zonă, alimentat dintr-o singură centrală amplasată la Brazi.

În stadiul actual, prin extinderea rețelei de abur totalizînd o lungime de 9,5 km, prin racordarea la CET Brazi a unui mare complex de sere legumicole, situat la circa 6 km, și prin realizarea magistralei de alimentare cu căldură a orașului, avînd o lungime de circa 12 km, sistemul de termoficare din zona Ploiești Sud-Brazi constituie una din cele mai remarcabile realizări pe plan mondial.

O rezolvare interesantă și de mari proporții o constituie sistemul de termoficare a orașului București, în care ponderea o reprezintă consumul urban grupat în mari cartiere de locuințe și în care apar cîteva zone industriale cu importante consumuri tehnologice și de încălzire.

În aceste condiții, soluția optimă a fost aceea în care încălzirea orașului și industriilor s-a concentrat în două mari centrale de termoficare, CET „Grozăvești" și CET „București-Sud", iar aburul tehnologic necesar industriei s-a grupat pe centrale de termoficare locale (Danubiana, 23 August, Pipera etc.).

Începutul termoficării orașului București s-a făcut prin utilizarea capacităților disponibile ale centralelor existente: „Grivița Roșie", unde s-a instalat un grup de termoficare de contrapresiune de 6 MW, și „Grozăvești", prin instalarea unui grup de termoficare de condensație și priză reglabilă de 25 MW, trecîndu-se ulterior la instalarea de grupuri de termoficare de mare economicitate, de 50 și 100 MW, prin extinderea CET „Grozăvești" și construirea CET „București-Sud".

Ca o consecință a existenței CET București-Sud, concepută cu posibilități de extindere, în apropiere s-a putut dezvolta un important complex de sere, alimentat cu căldură din această centrală.

Sistemul de termoficare al Capitalei dispune în prezent de două puternice surse de căldură și energie electrică și o rețea de termoficare modern concepută și dezvoltată, care va atinge la sfîrșitul acestei etape o capacitate de circa 2000 Gcal/h.

Sistemul de termoficare al orașului Iași constituie, prin concepția tehnică și configurația sa, un exemplu reprezentativ de mod armonios în care pot fi rezolvate problemele de alimentare cu căldură în cadrul unui complex, conceput și dezvoltat chiar de la început pe baza unei scheme unitare de ansamblu.

Aici a fost posibil ca dezvoltînd zona industrială în apropierea orașului și amplasînd centrala între oraș și zona industrială să se poată prelua în condiții economice atît aburul tehnologic pentru industrii, cît și încălzirea industriilor și orașului dintr-o singură sursă.

Profitînd de existența în centrul orașului a unei centrale termoelectrice, care prin amenajări minime a putut asigura circa 20 Gcal/h, dezvoltarea termoficării în orașul Oradea a început prin utilizarea acestui disponibil pentru încălzirea urbană a zonei centrale a orașului, realizînd un sistem de rețele de apă fierbinte, gîndit astfel încît să se încadreze în schema generală viitoare de termoficare a orașului. O dată cu apariția zonei industriale de vest, s-a realizat și CET Oradea, funcționînd pe cărbune, care va deservi unica sursă a sistemului de termoficare. Prin proiectare s-au putut rezolva problemele ridicate de natura combustibilului și de sistematizarea urbanistică și industrială astfel ca CET-Oradea să poată asigura în condiții optime întregul consum de căldură solicitat în acest important centru industrial și urbanistic, situat într-un important bazin carbonifer.

Centralele de termoficare de mărime mijlocie sau mici au făcut obiectul unor rezolvări locale, bazîndu-se în special pe valorificarea unor resurse secundare de căldură. Astfel de rezolvări au fost date la CET Roznov, CET Negru de Fum Pitești, CET Năvodari, CET Tg. Mureș, CET Reșița etc.

Această perioadă de dezvoltare a termoficării în țara noastră este caracterizată prin instalarea de grupuri cu puteri unitare mari, adaptate specificului consumului.

Astfel, au fost instalate grupuri cu mărimi unitare de 50 MW la CET Borzești, CET Brazi, CET Grozăvești, CET Craiova și grupurile de 100 MW de la CET București-Sud. Pentru asigurarea bazei materiale a dezvoltării termoficării s-a trecut la realizarea în țară a echipamentelor energetice de bază. În 1969 sînt prevăzute a intra în funcțiune primele agregate de 50 MW fabricate în țară.

De asemenea, se află în curs de asimilare grupul de termoficare urbană de 100 MW. Cazanele de apă fierbinte de 50 și 100 Gcal/h, cît și conductele pentru rețele de termoficare solicitate în cantități și dimensiuni din ce în ce mai mari se fabrică în mod curent în țară.

În ceea ce privește combustibilul, se subliniază că, în prezent, majoritatea centralelor de termoficare utilizează drept combustibil gazele și păcura. Aceasta se explică, pe de o parte, prin dezafectarea surselor proprii de alimentarea cu căldură a unor industrii existente, noile centrale de termoficare preluînd și combustibilul folosit de aceste surse în vederea utilizării mai raționale, iar, pe de altă parte, prin condițiile locale impuse centralelor de termoficare, majoritatea fiind situate în zone

populate, cu condiţii mai severe în privinţa poluării atmosferei.

Totuşi, în această perioadă s-au realizat şi două mari centrale de termoficare utilizînd drept combustibil lignitul din bazinele respective, CET Oradea şi CET Craiova, aceasta fiind soluţia optimă din punct de vedere al disponibilităţilor balanţei de combustibil şi al transportului.

Cantitatea de căldură livrată din centralele de termoficare creşte de la 8,4 milioane Gcal în 1960 la circa 35 milioane Gcal în 1970, conducînd la obţinerea unei energii produse în termoficare de circa 5,25 TWh în anul 1970, ceea ce reprezintă aproximativ 15% din producţia totală de energie la nivelul acestui an.

Din puterea instalată totală în centralele de termoficare aproximativ 70% reprezintă putere instalată în

Fig. 1. Situaţia termoficării în R. S. România — 1970. Localităţi cu CET industriale sau urbane la sfîrşitul anului 1970.

În figura 1 sînt prezentate centralele de termoficare din R.S. România, realizate şi în curs de realizare pînă în anul 1970, iar în figurile 2, 3 şi 4 este redată evoluţia termoficării în etapa 1960—1970.

În figurile prezentate sînt indicate :

— puterea instalată în centralele de termoficare ;

— cantitatea de căldură livrată din centralele de termoficare ;

— producţia de energie electrică obţinută în regim de termoficare ;

— numărul centrelor termoficate ;

— numărul apartamentelor încălzite prin termoficare ;

— lungimea şi diametrul maxim al reţelelor de termoficare.

În tabela 2 sînt prezentate principalele elemente care caracterizează evoluţia termoficării în etapa 1960—1970.

La sfîrşitul acestui cincinal (1965—1970) vor exista 17 centre cu sisteme de termoficare cu caracter public.

Puterea instalată totală în centralele de termoficare va fi în anul 1970 de 2410 MW, reprezentînd circa 30% din totalul puterii instalate în ţară.

grupuri de termoficare de puteri unitare de 25, 50 şi 100 MW, la parametrii de 100 at, 510°C şi 140 at, 570°C.

Cele mai importante centrale de termoficare realizate în această etapă sînt :

— CET Bucureşti-Sud, cu o putere instalată de 300 MW şi o cantitate de căldură livrabilă de circa 1200 Gcal/h ;

— CET Borzeşti, cu o putere instalată de 225 MW şi o cantitate de căldură livrabilă de circa 1000 Gcal/h ;

— CET Brazi, cu puteri instalate de 200 MW şi o cantitate de căldură livrabilă de circa 600 Gcal/h.

Celelalte centrale de termoficare mai importante realizate în această etapă sînt :

CET Oradea (150 MW), CET Craiova (150 MW), CET Iaşi (100 MW), iar în curs de realizare CET Galaţi (150 MW), CET Palas (100 MW) şi CET Govora (100 MW).

Reţelele de termoficare ating la nivelul etapei 1970 o lungime totală de circa 450 km, iar diametrul maxim 1200 mm (circa 6 km).

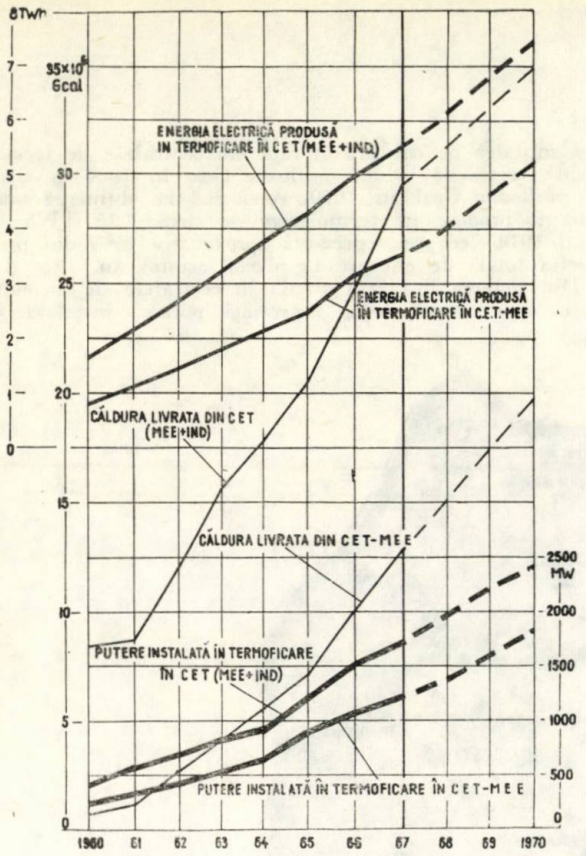


Fig. 2. Evoluția puterii instalate, a căldurii livrate și a energiei produse în regim de termoficare, în intervalul 1960–1970.

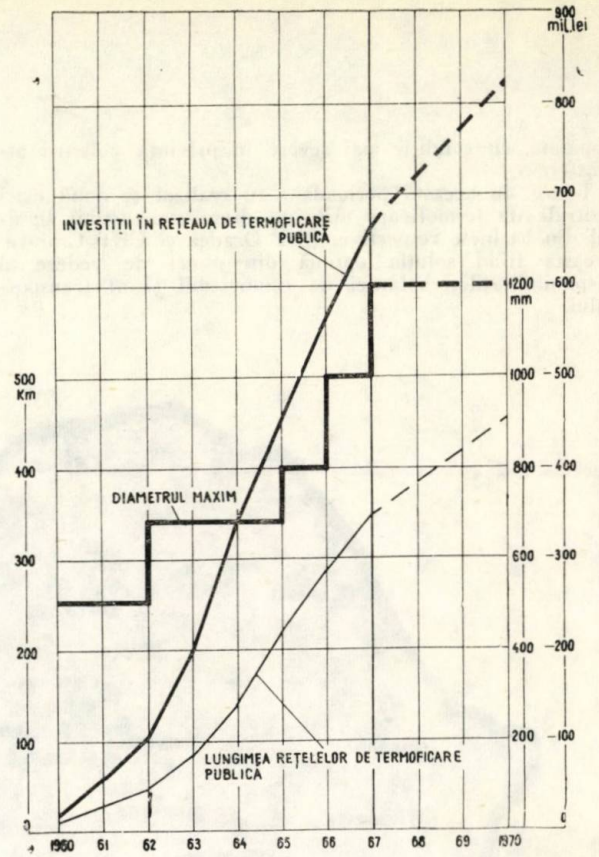


Fig. 4. Cîteva elemente caracteristice pentru rețelele de termoficare publice în intervalul 1960–1970.

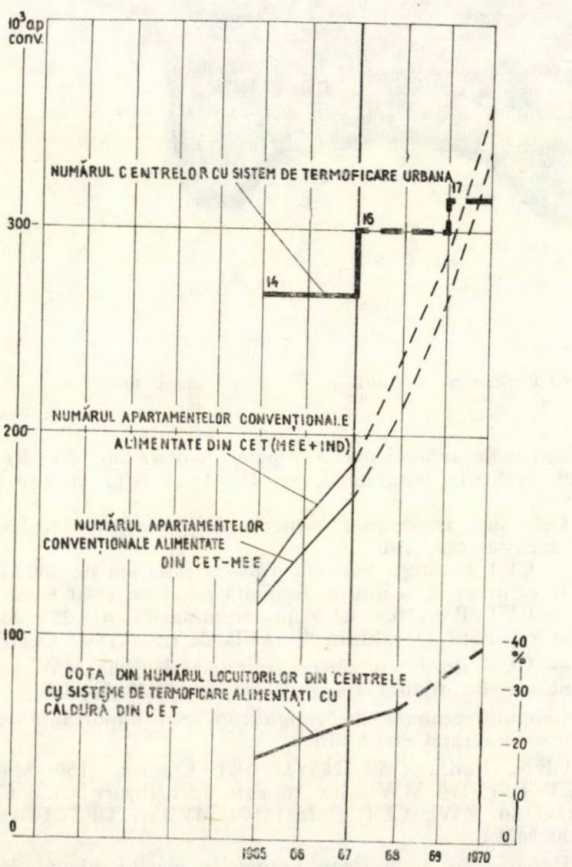


Fig. 3 Cîteva elemente caracteristice ale evoluției sistemelor de termoficare urbană (nr. centre, apartamente convenționale, locuitori).

Tabela 2

Date caracteristice privind evoluția termoficării în perioada 1960–1970

Denumirea	Realizări			Prevederi 1970
	1960	1965	1967	
Putere instalată în termoficare, MW	472	1.203	1.734	2.410
din care				
CET-MEE	113	811	1.220	1.830
CET-industriale	359	392	514	580
Căldura livrată prin termoficare, 10^6 Gcal	8,5	20,5	29,1	35,0
din care :				
CET—MEE	0,8	7,2	12,9	20,0
CET-industriale	7,7	13,3	16,2	15,0
Energia electrică produsă în termoficare, TWh	1,6	4,3	5,7	7,5
din care :				
CET-MEE	0,8	2,5	3,7	5,2
CET-industriale	0,8	1,8	2,0	2,3
Economia de combustibil obținută în termoficare, 10^3 t.c.c.	500	880	1.120	1.450
din care				
CET-MEE	200	570	800	1.100
CET-industriale	300	310	320	350
Centrala de termoficare cu puterea cea mai mare, MW	75	200	300	300
Puterea unitară a grupului cel mai mare și parametrii aburului, MW, at, °C	25 90 490	50 135 565	100 135 565	100 135 565
Lungimea rețelelor de termoficare, km	12,2	220	350	450
Diametrul maxim al conductelor, mm	500	800	1.200	1.200
Sistemul de termoficare cu capacitatea cea mai mare, Gcal/h	110	600	800	1.200

Efectul principal al dezvoltării termoficării în această perioadă se reflectă prin economia de combustibil realizată în comparaţie cu ciclurile de producere separată a căldurii şi energiei electrice.

Socotind numai economia de combustibil realizată prin înlocuirea unei energii electrice produse în condensaţie cu energia obţinută prin termoficare rezultă că prin termoficare se obţine o economie de combustibil care creşte de la 500 mii t c.c., în anul 1960, la 1450 mii t c.c., în anul 1970.

Pentru anul 1970, economia de combustibil reprezintă echivalentul unei cantităţi de lignit de Oltenia de circa 6,5 milioane tone. Dacă se are în vedere şi efectul centralizării producerii căldurii în centrale de termoficare în comparaţie cu producerea ei în centralele termice existente sau noi, cu cazane cu randamente mai

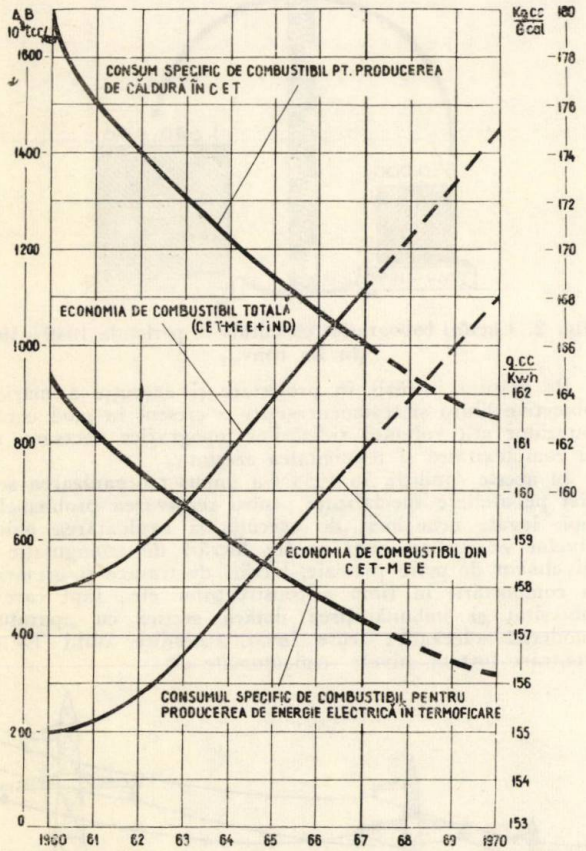


Fig. 5. Evoluţia consumurilor specifice şi a economiei de combustibil realizată prin termoficare, în intervalul 1960—1970.

scăzute, economia de combustibil este în realitate mai mare, se apreciază că la nivelul anului 1970 aceasta va fi de circa 2,3 mil. t c.c., respectiv 10 mil. t lignit de Oltenia.

Adăugînd la această economie de combustibil efectele sociale (creşterea gradului de confort, reducerea poluării atmosferei etc.) se poate conchide că dezvoltarea termoficării în ritmul accentuat din această perioadă a fost justificată.

Ca probleme care atrag atenţia în continuare sînt :

— reducerea vîrfurilor de consum de căldură şi a capacităţii instalate în sistemele de termoficare prin găsirea unor soluţii care să valorifice decalajele între vîrful de consum electric şi cel de încălzire ;

— mărirea gradului de siguranţă a funcţionării reţelelor de termoficare prin : măsuri pentru prevenirea şocurilor hidraulice, realizarea de bretele de legătură între magistralele de termoficare din interiorul oraşelor şi automatizarea punctelor de consum.

În ceea ce priveşte modul de tratare a consumatorilor şi concepţia legată de dimensionarea sistemelor de termoficare, dat fiind prevederile nu întotdeauna certe ale consumurilor de căldură, în ultimul timp s-au introdus metode noi de tratare a acestei probleme, printre acestea fiind folosirea teoriei deciziilor bazate pe teoria jocurilor strategice, ceea ce dă posibilitatea luării unei hotărîri în cunoştinţă de rezultatele diferite la care ar fi posibil să se ajungă.

În cei 20 de ani de activitate a I.S.P.E., în domeniul termoficării a avut loc şi un proces de formare a cadrelor de specialitate într-un domeniu nou pentru ţara noastră şi într-o perioadă în care experienţa şi schimbul de informaţii erau reduse. Acest schimb de informaţii s-a bazat, într-o primă etapă, şi pe experienţa specialiştilor din acest domeniu din U.R.S.S.

Personalul de specialitate, la început formînd un nucleu foarte redus, a evoluat atît ca număr, cît şi ca pregătire, ca urmare a problemelor noi, de o amploare crescîndă, astfel încît, în prezent, ISPE dispune de un important număr de specialişti cu o pregătire superioară, grupaţi în unităţi specializate de reţele de termoficare şi centrale de termoficare.

Referitor la perspectiva dezvoltării termoficării, examinările făcute pentru etapele următoare au scos în evidenţă că termoficarea va avea o dezvoltare importantă, fiind posibilităţi concrete tehnice şi economice ca aceasta să se dezvolte cel puţin în ritmul în care s-a dezvoltat în ultima perioadă.

În etapele care urmează, termoficarea găseşte creată o bază materială şi anticipate o serie de investiţii în centrele în care ea a fost deja introdusă, ceea ce va face posibil ca, prin eforturi de investiţii mai reduse, să se asigure nu numai dezvoltarea acesteia, ci şi o mărire a eficienţei economice a actualelor sisteme de termoficare.

Două decenii de studii şi cercetări pentru construcţii energetice

Dr. geolog **Ion Băncilă** Ing. **Constantin Budeanu**

Realizarea proiectelor pentru amenajarea energetică a teritoriului ţării este condiţionată de o serie întreagă de factori în legătură cu influenţa condiţiilor naturale, în rîndul cărora intră : morfologia, reţeaua hidrografică, structura şi rezistenţa terenurilor de fundaţie, existenţa materialelor de construcţii etc. Cunoaşterea acestor condiţii, pornită de la nuanţe subiective ale unor simple observaţii de suprafaţă, trebuie condusă cît mai mult spre expresii pozitive şi cifrice.

În consecinţă, pentru furnizarea tuturor datelor de bază necesare proiectării centralelor hidro şi termoelectrice, a staţiilor de transformare şi a liniilor electrice de înaltă tensiune prevăzute în planul de electrificare a ţării, s-au creat încă din anul 1949 unităţi de specialitate pentru întocmirea studiilor de teren şi a cercetărilor în laboratoare.

În prima etapă de existenţă, pînă în anul 1957, unităţile de studii şi cercetări au funcţionat sub forma unui sector în cadrul Institutului de studii şi proiectări energetice (ISPE), dezvoltat foarte repede datorită necesităţii de a se ataca de la început un mare număr de genuri de probleme, de specialităţi inexistente în ţara noastră înainte de lansarea planului de electrificare.

În urma creşterii importante a volumului de lucrări şi a specializării lor continue, în anul 1958 unităţile de studii şi cercetări au fost desprinse de ISPE şi constituite sub forma unei Întreprinderi de cercetări şi studii de teren pentru lucrări energetice (ICSE), pentru ca, în anul 1963, prin regruparea cu sectorul de proiectare hidroenergetică din ISPE, să ajungă la forma actuală de organizare, aceea de Institut de studii şi proiectări hidroenergetice (ISPH).

De la primele începuturi ale înfăptuirii lucrărilor din

planul de electrificare şi pînă astăzi, proiectarea uzinelor hidro şi termoelectrice, cu toate lucrările corespunzătoare (baraje, aducţiuni, castele de echilibru, construcţia liniilor pentru transportul energiei electrice, a staţiilor de transformare şi a tuturor celorlalte obiecte energetice), a necesitat o gamă foarte largă de studii de teren, pentru cunoaşterea elementelor hidrologice, geologice, geotehnice, topogeodezice, precum şi cercetări din ce în ce mai întinse în laboratoare, pentru concretizarea soluţiilor necesare proiectării în domeniul betoanelor hidrotehnice şi pentru rezolvarea unei serii întregi de probleme de specialitate în legătură cu realizarea barajelor de pămînt, a încercărilor pe modele structurale şi fotoelastice, a lianţilor, izolaţiilor, chimismului apelor şi hidraulicii construcţiilor energetice.

Studii de teren

Studii hidrologice. Pentru asigurarea datelor de bază destinate prelucrărilor hidrologice necesare în proiectare la determinarea schemelor de amenajări hidroenergetice sau la dimensionarea sistemelor de răcire din cadrul termocentralelor, s-a înfiinţat în anul 1949 prima reţea hidrometrică ISPE, care a fost dotată cu mijloacele corespunzătoare efectuării măsurătorilor de nivele, debite lichide şi solide, observaţii asupra temperaturilor sau a altor elemente necesare. Numărul şi dezvoltarea posturilor hidrometrice a variat în decursul celor 20 ani (1949—1968), ca urmare a cerinţelor de încadrare a acestora în reţeaua naţională administrată de Comitetul de Stat al Apelor, sau a altor condiţii rezultate din nevoile institutului.

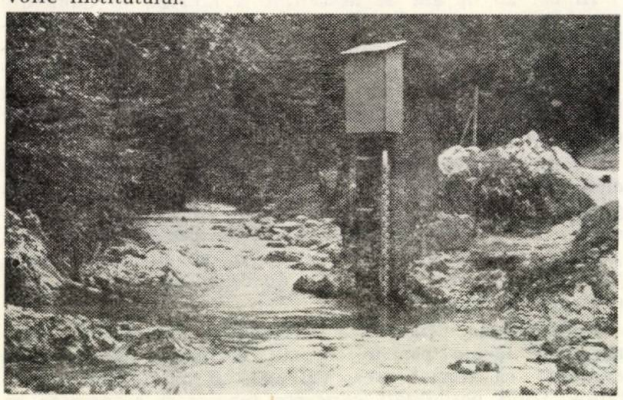


Fig. 1. Instalaţie hidrometrică.

O atenţie deosebită s-a acordat prelucrărilor hidrologice cu privire la debitele medii zilnice, anuale şi multianuale, folosite la determinarea unor elemente importante în proiectare, ca de exemplu: energia totală disponibilă, puterea instalată, volumul lacurilor de acumulare, implicit la determinarea înălţimii barajelor, dimensiunii descărcărilor şi prizelor, instalaţiilor de îmbunătăţire a calităţii apei etc.

În dezvoltarea activităţii institutului este de menţionat impulsul căpătat în anul 1965, prin ataşarea în cadrul Secţiei hidrologice a unei unităţi de specialitate în probleme de hidraulica albiilor, fapt care marchează o lărgire a domeniului de studiu, atît prin sporirea tematicii, cît şi prin posibilităţile create de utilizarea calculatoarelor electronice. Este de menţionat o serie de probleme, ca de exemplu: calculul mişcărilor permanente (remuu), calculul colmatării lacurilor, calculul coeficienţilor de utilizare, modelarea sistematică a şirurilor hidrologice (corecţia şirurilor măsurate prin metoda Monte-Carlo), reducerea debitelor maxime ca urmare a atenuărilor în lacurile de acumulare etc., a căror rezolvare a condus la înmulţirea şi fundamentarea datelor de bază în proiectarea amenajărilor hidroenergetice.

Ridicări topogeodezice. Pentru executarea ridicărilor topogeodezice a fost creată încă din anul 1949 o unitate specială, dotată la început cu un număr de numai 15 ingineri şi tehnicieni, cu sarcina de a asigura baza topografică a lucrărilor de studii, proiectare şi execuţie, elaborate de ISPE.

Faţă de volumul de ridicări topografice, în continuă creştere, şi faţă de lipsa personalului tehnic, în anii 1950 şi 1952 au fost organizate în interiorul ISPE şcoli de calificare cu durata de şase luni, din care s-au recrutat elemente suficient de bine pregătite pentru a permite Secţiei topogeodezice să-şi sporească efectivul, în 1953, la peste 90 de ingineri şi tehnicieni.

În aceeaşi perioadă, o grijă deosebită s-a acordat dotării tehnice cu aparatura topografică modernă Wild şi Kern, procurată prin import.

Primele lucrări topografice executate în cadrul secţiei s-au axat pe inventarierea potenţialului hidroenergetic al bazinelor hidrografice. De asemenea, încă de la început, un important număr de ingineri şi tehnicieni a fost repartizat pentru ridicarea topografică a staţiilor de transformare şi a traseelor liniilor de înaltă tensiune.

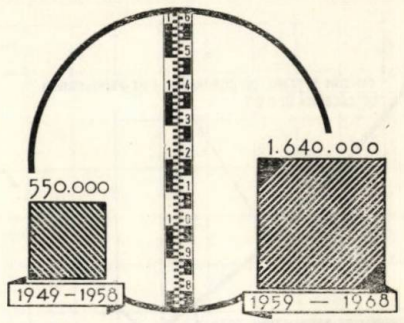


Fig. 2. Lucrări topografice executate în perioada 1949—1968 (în ha conv.).

Pe măsura intrării în proiectare şi execuţie a marilor obiective hidro şi termoenergetice a crescut în mod corespunzător atît volumul ridicărilor topografice necesare, cît şi complexitatea şi tehnicitatea acestora.

În aceste condiţii, în 1958 s-a impus reorganizarea secţiei pe ateliere specializate pentru rezolvarea problemelor noi, legate nemijlocit de execuţia şi exploatarea obiectivelor energetice, cum ar fi: lucrări de triangulaţie şi nivelment de mare precizie, lucrări de trasare şi urmărire a comportării în timp a construcţiilor etc., fapt care a necesitat şi îmbunătăţirea dotării secţiei cu aparatură modernă adecvată: truse Invar, teodolite Wild T3 cu centrare forţată, nivele semiautomate etc.

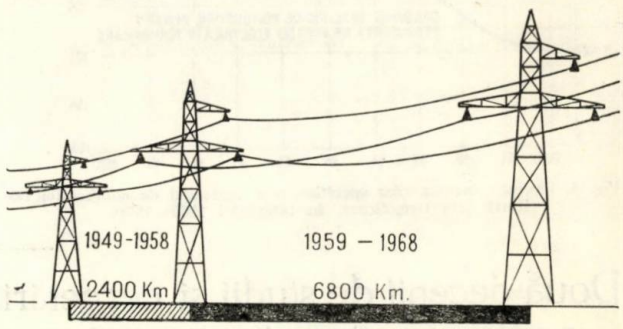


Fig. 3. Studii de teren pentru linii de înaltă tensiune realizate în perioada 1949—1968.

Totodată, a fost necesară punerea la punct a anumitor metode de trasare a barajelor şi de urmărire prin procedee geodezice a comportării lor în timp, metode care au fost concepute şi aplicate pentru prima oară la noi în ţară. În acest sens, metodologia şi execuţia trasării galeriile subterane de mare lungime executate la CHE Argeş — circa 42 km — şi în curs de realizare la CHE Lotru — circa 150 km — trebuie menţionate ca probleme deosebite atît prin precizia cerută, cît şi prin răspunderea pe care o implică acest gen de lucrări şi care au fost complet rezolvate, în prezent secţia dispunînd de personalul specializat şi aparatura necesară pentru executarea lucrărilor topografice în subteran, în cele mai bune condiţiuni.

De asemenea, pentru a se putea face față volumului mare de ridicări topografice solicitate de proiectare au fost introduse în procesul de elaborare a planurilor de situație metodele de mare randament, aero și geofotogrametrice, precum și măsurătorile telurometrice în lucrările de triangulație. În acest scop s-a dotat secția cu fototeodolit, stereocomparator, stereoscoape cu oglinzi etc.

Pentru studiul, proiectarea și execuția marilor complexe hidroelectrice și de navigație pe Dunăre — Porțile de Fier și Islaz-Somovit, s-a executat, în colaborare cu specialiștii străini, un mare volum de ridicări topografice. Dintre acestea se menționează acelea cu caracter special, ca realizarea triangulației comune și trecerile de nivelment peste fluviul Dunărea, în scopul realizării unui sistem de sprijin comun, precis și unitar, lucrări care prin amploarea și prin precizia realizată au constituit încercări bine reușite ale capacității tehnice și organizatorice secției de specialitate a I.S.P.H.

Studii de geologie inginerească. Cu excepția studiilor geotehnice privind așa-numitele „pământuri", care constituiau atracția unui număr restrîns de ingineri constructori, preocupările de geologie inginerească din țara noastră erau rare la data înființării institutului. În special domeniul rocilor „stîncoase", care constituie terenul de fundare al complexelor hidroenergetice, era slab investigat și doar cu metode geologice scolastice. Faptul se explică prin lipsa în țara noastră la acea vreme a unor cereri mai serioase în această direcție și canalizarea studiilor geologice spre compartimente de cu totul alt specific. Se considera, de altfel, în concepția de atunci, că geologia pentru construcții nici nu constituie o specialitate, un geolog cu pregătire generală putînd să avizeze situații de acest gen.

Campania de mari construcții începută după instaurarea regimului socialist a produs și în această direcție o schimbare fundamentală. Mai mulți geologi din generațiile mai vechi și-au îndreptat atenția spre problemele inginerești și un număr mai mare de ingineri constructori s-au preocupat de geotehnică.

În paralel, învățămîntul superior organizat conform noilor necesități dă, începînd din anul 1953, posibilitatea angajării de ingineri geologi, pregătiți în cadrul Institutului politehnic.

Misiunea acestora era să îmbine observația și descrierea cu experimentul și calculul, sau — în alt mod de exprimare — punctul de vedere naturalist cu cel tehnic. Cu aceasta se conturează la noi sfera noțiunii de geologie inginerească. Viitorul va arăta în ce măsură diversitatea de pregătire a primilor militanți a influențat formarea și dezvoltarea fericită a noii ramuri a științelor geologice. Constatăm, însă, că locul principal de dezvoltare a geologiei inginerești, în țara noastră, a fost în cadrul unităților de studii pentru lucrări hidroenergetice, și aceasta ca o consecință a confruntării nevoilor practice cu specificul de cercetare.

Cartarea geologică și geologică-tehnică. Trasarea pe planul topografic a formațiunilor geologice, cu indicarea litologiei, a limitelor dintre complexe și a elementelor structurale riguros măsurate, care constituie de multă vreme obiectul cartărilor geologice, s-a extins în cadrul ISPH la conturarea depozitelor acoperitoare, a proceselor fizico-geologice actuale, a geomorfologiei și hidrogeologiei, adică la acele elemente care au o legătură directă cu construcțiile și care pot să lămurească întrebările privind stabilitatea, capacitatea terenului de a suporta sarcina dată de construcție, adîncimea necesară pentru încastrare și astfel volumele de materiale care trebuie excavate.

Scările folosite au fost în general mari, ajungînd pentru zonele de amplasare a construcțiilor la raporturi de 1/500 și 1/200.

Urmărind aceste obiective, geologii și inginerii geologi din ISPH au realizat numeroase hărți și planuri geologice. În afară de faptul că acestea au constituit baze pentru proiectare, și în cazuri mai fericite chiar de execuție, a unor complicate construcții energetice, unele hărți au adus date noi, de interes, pentru cunoașterea alcătuirii geologice a teritoriului țării. Se pot cita în acest sens hărțile referitoare la bazinele rîurilor Moldova, Bistrița, Trotuș, care s-au realizat în legătură cu hidrocentrale executate, și anume: hidrocentrala de la Bicaz, hidrocentralele de pe Bistrița aval, acumulările de la Belci, Poiana Uzului, cum și o serie mai lungă de acumulări și uzine în stadiu de proiect. Hărțile citate au condus în final la o cunoaștere mai bună a geologiei flișului carpatic. De asemenea, hărțile privind bazinul Lotrului, bazinul Sebeșului, ca și Valea Dunării între Gura Văii — Orșova au adus contribuții la cunoașterea structurii în pînze de șariaj a Carpaților Meridionali. O serie de hărți, referitoare la proiecte de pe Valea Someșului, Drăgan, Lesul, au adus date noi cu privire la geologia Munților Apuseni. O serie de foraje executate în Dobrogea centrală a relevat existența unui puternic complex gipsifer de vîrstă cretacică inferioară.

În ultimii ani, mai mulți tineri geologi și ingineri geologi amănunțesc cu energii proaspete și competente studiile generale, căutînd căi noi, mai bune, de reprezentare și interpretare a observațiilor de teren.

Un capitol important al cartărilor geologice îl constituie întocmirea așa-numitelor relevee geologice, adică reprezentarea la scară mare (de obicei 1/100) a suprafețelor descoperite în mod natural sau prin lucrări speciale, ca: galerii, puțuri, tranșee, sau prin excavații în vederea construirii obiectivelor. Arhiva ISPH conține azi o cantitate mare de asemenea relevee. Pe ele sînt înregistrate detalii care dau posibilitatea de identificare a unor aspecte interesante, fie pentru aprofundarea unor probleme geologice inginerești, fie pentru intervenirea eficientă în cazul apariției unor defecțiuni.

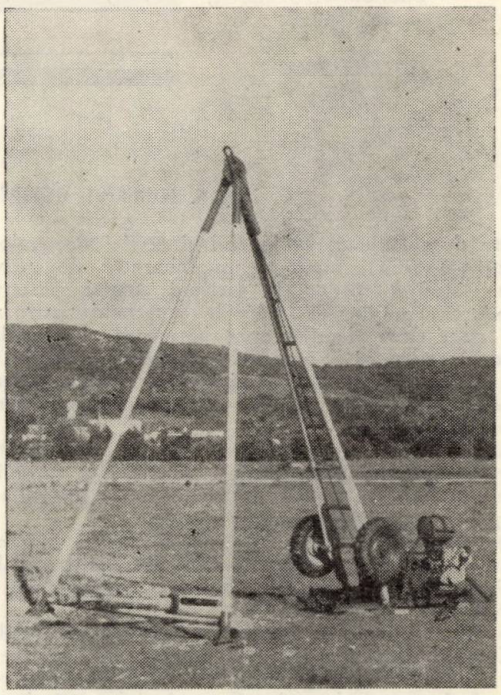


Fig. 4. Sondeza sistem uscat mecanizată tip GEOPEC 30 (ISPH).

În completare, hărțile și releveele geologice cuprind diagrame de fisurare și numeroase secțiuni la scară mare. În vederea lămuririi situațiilor geologice mai complicate și pentru clarificarea aspectelor tehnice pe care le ridică unele proiecte mai îndrăznețe (cum sînt centralele subterane, barajele de beton în arc, conductele forțate, de mari dimensiuni etc.) s-a trecut la investigarea pe adîncimi mai mari. Astfel, s-au realizat foraje cu adîncimi pînă la 450 m, puțuri cu adîncimi pînă la 140 m, galerii cu lungimi pînă la 650 m. Pentru realizarea acestora grupul de șantiere a fost dotat cu aparaturi corespunzătoare. În ultimii ani parcul de sondeze mecanice KAM-500 și KA-2N-300, de care s-a dispus anterior, a fost

modernizat prin înlocuirea cu sondeze ZIF-300 și SG-300, capabile să realizeze viteze mai mari de foraj, prin folosirea și a capetelor carotiere cu diamante.

Un progres important a fost realizat prin construirea carotierelor duble sau cu manșon elastic. Datorită acestora s-a reușit recuperarea satisfăcătoare a probelor din roci friabile sau foarte alterate și, prin urmare, investigarea mai bună a terenurilor destinate anumitor fundații.

În ultima vreme, parcul de sondeze manuale în sistem uscat este în curs de înlocuire prin sondeze mecanizate GEOPEC-30 m, de construcție proprie. Se va obține cu acestea o viteză de foraj sporită și se vor îmbunătăți radical condițiile de muncă. Sondezele mecanizate au avut o bună apreciere și sînt în curs de adoptare în mai multe întreprinderi de foraj din țară.

Pentru execuția lucrărilor miniere grele se dispune de un utilaj corespunzător: compresoare, instalație de aeraj, grupuri electrogene, perforatoare, pompe etc.

Studiile de mecanica solurilor au căpătat de asemenea dezvoltare, trebuind să se determine condițiile de fundare pe pămînturi a construcțiilor termoenergetice, a liniilor de înaltă tensiune, a barajelor și digurilor de pămînt.

Mijloacele de investigare folosite inițial au fost exclusiv forajele sistem uscat, din care s-au recoltat probe de teren pe baza cărora s-au determinat exclusiv în laborator caracteristicile fizico-mecanice ale pămînturilor de fundare.

În ultimii ani s-a introdus o serie de aparate și instalații noi, ca urmare a problemelor dificile de fundare pe nisipuri, loessuri, mîluri etc.

Astfel, pentru determinarea gradului de îndesare a nisipului de fundare a coșurilor de fum foarte înalte (200 m) de la CET Craiova și București-Sud, s-au aplicat încercări „in situ" cu penetrometre dinamice și statice.

Cu aparatele Bishop și GEONOR s-au prelevat probe

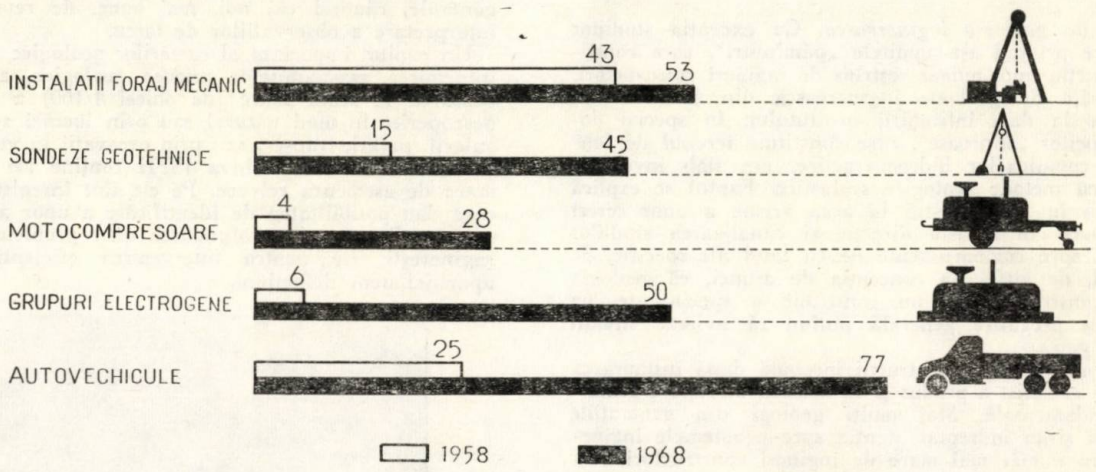


Fig. 5. Numărul utilajelor principale folosite la lucrările de studii.

Este de menționat că în cadrul secției de geologie inginerească funcționează și un laborator de petrografie, pentru studiul rocilor de secțiuni subțiri, care permite extinderea studiilor geologice la aspecte de mare actualitate, cum sînt microfisurarea, alterarea și alterabilitatea rocilor, precum și o grupă de geofizică industrială (seismică și electrometrie), cu ajutorul căreia se caută procedee mai rapide și mai economice pentru stabilirea valorilor geotehnice.

Studiile hidrogeologice s-au dezvoltat în legătură cu determinarea condițiilor pentru etanșare și consolidare a rocilor fisurate la uvrajele hidroenergetice sau alimentarea cu apă a centralelor termoenergetice.

Metodologia, utilajele, prelucrarea datelor de teren, în vederea determinării coeficienților de infiltrație în aluviuni și absorbția specifică la rocile fisurate, au marcat un continuu progres.

Studiile pentru etanșarea și consolidarea rocilor sau aluviunilor foarte permeabile, aflate sub barajele și digurile înalte, s-au dezvoltat fără să existe un precedent în țară în acest domeniu. S-a acumulat totuși o experiență valoroasă, verificată practic printr-o serie de lucrări executate.

Un exemplu îl constituie voalul de etanșare a rocii fundației barajului CHE Bicaz, unde, după injectarea a 200 t ciment în 200 000 m foraj, debitul infiltrat sub presiunea de 120 m coloană de apă a fost de circa 100 l/sec.

De asemenea, pe valea Bistriței, la Stejarul, s-a reușit etanșarea a 85 000 m² de pietrișuri foarte permeabile (K = 100—800 m/zi). La digurile celor 13 hidrocentrale de pe Bistrița aval, ca urmare a studiilor de teren și laborator, s-au aplicat pe scară industrială metodele moderne de injectare cu suspensii de argilă-ciment, piloți secanți din beton și pereți continui de beton săpați sub noroi de bentonită.

netulburate din nisipuri acvifere și mîluri, stabilindu-se în laborator capacitatea portantă a acestor pămînturi pentru viitoarele hidrocentrale de pe Dunăre și a unor centrale nuclearoelectrice.

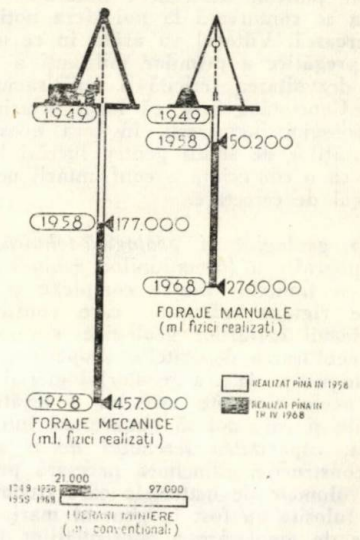


Fig. 6. Creșterea volumelor de foraje și lucrări miniere.

Pentru obținerea unor rezultate cît mai reale privind rezistența la compresiune-tasare a pămînturilor, s-au construit instalații mobile de compresiune în foraje, pe placă de Ø 0,23 m, și în puțuri, pe placă 1,50 × 1,50 m, cu capacitate de 125 t. Pentru CET Galați s-au făcut încăr-

cări de probă pe loessuri pe blocuri de beton 2 × 3 m. De asemenea, s-a reușit încărcarea unor piloți de fundație prin lestare cu 320 t/pilot și 50 kg/cm² pe pietriș.

Pentru proiectarea viitorului baraj de anrocamente de la CHE Lotru-Vidra s-a construit o instalație specială de forfecare pe suprafețe mari de 2 × 3 m, sub o apăsare verticală de 380 t.

Studiile de mecanica rocilor stîncoase, necesare determinării practice a coeficienților de calcul pentru proiectarea barajelor înalte și a cămășuielilor galeriilor hidrotehnice, reprezintă de asemenea un domeniu fără precedent în țară.

Pentru obținerea unor rezultate cît mai reale, care să țină seama de fisurația naturală, șistuozitatea și gradul de alterare, aceste încercări se execută astăzi numai pe teren, la scară cît mai mare, depășind experiențele de laborator, mult mai puțin concludente.

După un început modest făcut în 1950—1951 la CHE Moroeni și CHE Bicaz, unde s-au executat primele galerii sub presiune de apă sistem Amsler și încercări de compresiune-forfecare pe suprafețe mici, s-a ajuns astăzi la determinarea tuturor coeficienților necesari proiectării.

Astfel, modulul de deformație (*Ed*) determinat în trecut cu prese hidraulice pe suprafețe de numai 700 cm², se execută astăzi pe suprafețe de 31 400 cm² cu ajutorul preselor plate Freyssinet și al galeriilor sub presiune

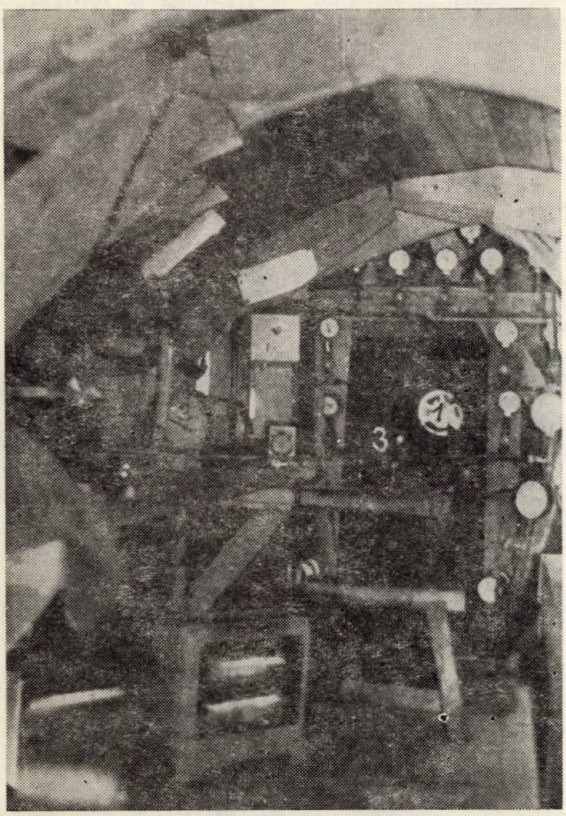


Fig. 7. Cameră pentru observații și măsurători la o determinare în zona barajului Vidra pe Lotru a coeficientului de rezistență elastică (K_0) prin metoda presiunii cu apă în galerii:

1 — dispozitiv de măsură; 2 — manometru; 3 — lunetă.

sistem Kiesser sau cu prese plate radiale Lazarovici-TIWAG. La CHE Argeș s-a pus sub presiunea apei la 18 kg/cm² o galerie la scara de 1 : 1, avînd 460 m lungime și 6 m diametru, iar cu ajutorul preselor plate radiale Lazarovici-TIWAG s-a realizat pe rocă presiunea record de 76 kg/cm², pe un tronson de ∅ 2 m și 2 m lungime. În prezent se fac studii pentru determinarea modulului de deformație static prin corelarea acestuia cu modulul de deformație dinamic, determinat prin mijloace expeditive, cu ultrasunet.

Coeficientul de coeziune și unghiul de frecare internă, determinat în trecut numai în laborator, pe carote de ∅ 100—130 m, se determină astăzi, exclusiv pe teren, prin forfecarea martorilor de rocă de 0,80 × 0,80 m, acționați biaxial. În prezent s-a reușit experimentarea unei instalații proprii cu acționare triaxială, care recoltează date mai apropiate de starea eforturilor în masivul muntos, constituind una din puținele experimentări pe plan mondial.

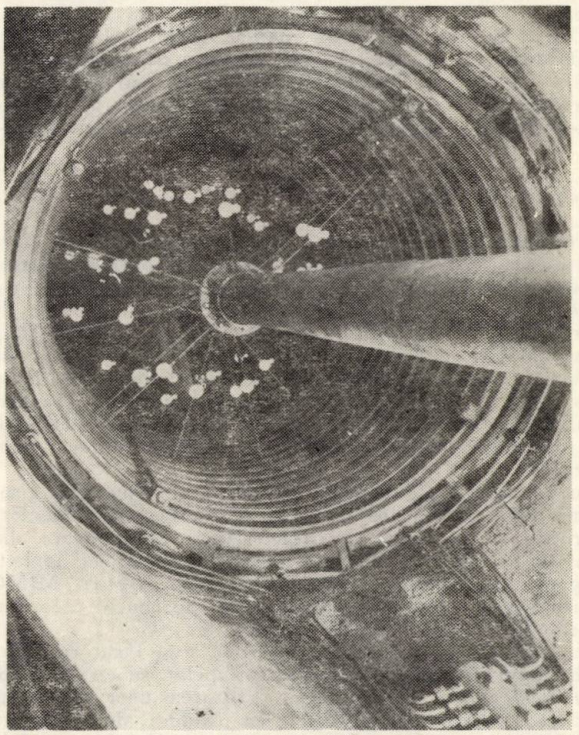


Fig. 8. Determinarea modulului de deformație al rocii în galerii cu instalația Lazarovici-TIWAG.

Coeficientul de frecare beton-rocă, necesar calculului dimensiunilor și stabilității barajelor, se determină de asemenea numai pe teren, pe blocuri de 0,80 × 0,80 m.

În ultimii ani s-a reușit și determinarea stării de eforturi în masivul muntos, prin folosirea preselor plate de 0,40 × 0,40 m și a preselor cilindrice de ∅ 100 m. Prin aceasta se pot corecta coeficienții geomecanici, pentru a ține seama și de efectul de eliberare a eforturilor din masiv, ocazionat de săparea galeriilor în care se fac încercările.

Cu ajutorul aparaturii moderne de măsurat (mărci tensiometrice, teletermometre, mesdoze, teledeformetre Huggenberger etc.), la CHE Argeș s-au executat interesante măsurători ale presiunii de umflare a argilelor traversate de galeria de fugă, ale adîncimii radiale pînă la care se resimte presiunea hidrostatică din galeria de aducțiune, precum și efectul asupra cămășuielilor precomprimate de beton și blindaj la puțul forțat.

Cu toată experiența și dezvoltarea la care s-a ajuns în domeniul mecanicii rocilor, se menționează că aportul în proiectarea construcțiilor hidroenergetice este încă redus, din cauza dificultăților de realizare a încercărilor. În viitor vor trebui organizate echipe specializate de muncitori și tehnicieni care să îngrijească, să gestioneze, să monteze și să execute încercările.

Se consideră, de asemenea, că timpul de execuție va putea fi micșorat dacă se vor accelera studiile actuale de corelare a coeficienților geomecanici determinați prin mijloace rapide (ultrasunet, prese mici) și mijloace clasice la scară mare. Sînt deci necesare în continuare cercetări teoretice pentru prelucrarea datelor experimentale.

Studiul materialelor de construcție, ca balsat, anrocamente pentru baraje și argile pentru etanșări, a fost ne-

cesar pentru determinarea rezervelor şi calităţilor fizico-mecanice, în vederea proiectării economice a construcţiilor.

Ca mijloace de investigaţie s-au folosit foraje mecanice, manuale, puţuri, derocări şi cercetări de laborator.

Studiul granulometric al balastierelor a fost însă mult timp necorespunzător, din cauza marilor greutăţi de prelevare a balastului aflat sub nivelul apei subterane.

În prezent, prin construcţia unei instalaţii mobile de congelare a pămîntului, puţurile se sapă în uscat, iar rezultatele granulometriilor efectuate sînt de înaltă calitate.

Costul şi durata acestor puţuri fiind relativ mari (4000 lei/m şi 2 zile/m), este necesar să se completeze aceste lucrări cu foraje mai rapide şi mai economice, executate cu maşina de forat tip BENOTO (Ø 80 cm, 800 lei/m şi 1 m/oră).

Cercetări în laboratoare

Cercetări pentru construcţii hidrotehnice. În scopul efectuării cercetărilor de laborator privind materialele şi elementele de construcţie ale uvrajelor hidroenergetice s-a înfiinţat încă din anul 1949 o serie de laboratoare de specialitate, a căror dezvoltare a avut loc într-un timp scurt datorită necesităţii clarificării unor serii întregi de probleme puse de proiectarea şi de execuţia lucrărilor energetice în domeniul betoanelor hidrotehnice, a încercărilor pe modele structurale şi fotoelastice a barajelor de pămînt, a lianţilor, izolaţiilor şi chimismului apelor naturale.

În domeniul construcţiilor de beton, o importantă problemă rezolvată a fost aceea a obţinerii unor cimenturi hidrotehnice speciale, cu caracteristici satisfăcătoare din punctul de vedere al termicităţii, rezistenţei la îngheţ-dezgheţ etc. Studiile efectuate în colaborare cu MIMC au condus la realizarea a două tipuri de ciment care dau satisfacţie deplină cerinţelor impuse.

În legătură cu studiul cimenturilor s-au făcut cercetări şi în privinţa acţiunii agresive a apelor subterane, fapt care a permis, de asemenea, realizarea unor cimenturi speciale, astăzi standardizate, cu căldura de hidratare limitată şi cu rezistenţa moderată sau înaltă la agresivitate sulfatică. Ele au fost şi sînt folosite la betoanele CHE Argeş, uvrajele SHEN Porţile de Fier etc.

Condiţiile de folosire a agregatelor pentru betoane hidrotehnice au ridicat o serie de probleme referitoare la conţinutul de mică, pirită, humus etc. Rezolvarea completă a acestor probleme a permis exploatarea unor balastiere care în cazul inexistenţei unor cercetări corespunzătoare, ca cele efectuate pentru CHE Argeş, ar fi condus la cheltuieli suplimentare nejustificate din punct de vedere tehnic.

O gamă largă de cercetări a fost efectuată asupra proprietăţilor betonului — atît asupra celor care determină tehnologia de punere în operă (lucrabilitatea etc.), cît şi asupra celor legate de condiţiile tehnice impuse construcţiei — rezistenţe mecanice, permeabilitate, rezistenţa la îngheţ-dezgheţ, rezistenţa la eroziune, caracteristici elastice, curgere lentă, contracţie —, urmărindu-se influenţa granulozităţii, în special a părţii fine, a aditivilor plastifianţi etc. Aceste cercetări au condus la stabilirea unor compoziţii de beton corespunzătoare din punct de vedere tehnic şi economic, utilizate la CHE Argeş, barajele Teliuc, Secul, uvrajele SHEN Porţile de Fier ş.a.

O atenţie deosebită s-a acordat problemei termicităţii betonului, respectiv ansamblului de măsuri care trebuie luate pentru a împiedica fisurarea betonului sub efectul eforturilor provocate de degajarea de căldură a cimentului. Cercetările efectuate au permis elaborarea unor criterii şi a unei metodologii de stabilire a măsurilor necesitate de termicitatea betonului, care au fost utilizate în cazul construcţiilor masive (barajelor etc.) executate.

O serie largă de studii a fost efectuată în domeniul metodelor nedistructive de cercetare a betonului, folosind atît sclerometre, cît şi aparatură de determinare a vitezei sunetului prin beton. Aceste cercetări au dus la stabilirea unei metode de determinare a rezistenţei medii a betonului şi a coeficientului de variaţie al acesteia pe baza măsurilor nedistructive.

În domeniul barajelor de pămînt au fost efectuate cercetări care au dus la elaborarea unei metode complexe care să permită stabilirea în laborator a caracteristicilor de compactare a pămînturilor, atît în funcţie de natura materialului utilizat, cît şi în funcţie de procesul tehnologic de execuţie, modelîndu-se cu suficientă exactitate — cu ajutorul aparaturii de laborator utilizate în acest scop — procedeele de compactare folosite pe şantier.

Această metodologie, verificată înainte de începutul execuţiei pe piste experimentale şi în timpul execuţiei lucrărilor pe baza măsurătorilor efectuate, a fost utilizată pentru a indica tehnologia de execuţie la lucrările de pămînt de la amenajarea Bistriţei, de la hidrocentralele de pe rîul Argeş, barajul Lotru etc.

În urma cercetărilor efectuate s-a putut utiliza, pentru controlul execuţiei lucrărilor de pămînt, aparatură cu izotopi radioactivi, ceea ce a mărit operativitatea controlului şi a permis realizarea unui control statistic bazat pe un mare număr de măsurători.

De asemenea, studiile efectuate în legătură cu filtrele inverse au permis atît realizarea unor soluţii mai economice, cît şi elaborarea unor instrucţiuni interne privind condiţiile de alcătuire a filtrelor inverse.

În problema parametrilor de rezistenţă la forfecare a materialelor argiloase din zonele de etanşare ale barajelor de pămînt şi a influenţei presiunii neutrale asupra acestora, a fost efectuată o serie amplă de cercetări, axată în special pe execuţia barajului Lotru. Cercetările au permis realizarea unei aparaturi originale de experimentare şi determinarea — în scopuri practice — a valorilor coeficienţilor de calcul pentru stabilirea eforturilor efective în materialele argiloase ale zonelor de etanşare.

În domeniul cercetării experimentale a mecanicii construcţiilor hidroenergetice din beton şi beton armat activitatea s-a desfăşurat pe două direcţii: utilizarea metodelor fotoelasticimetrice şi folosirea metodei modelelor tensometrice.

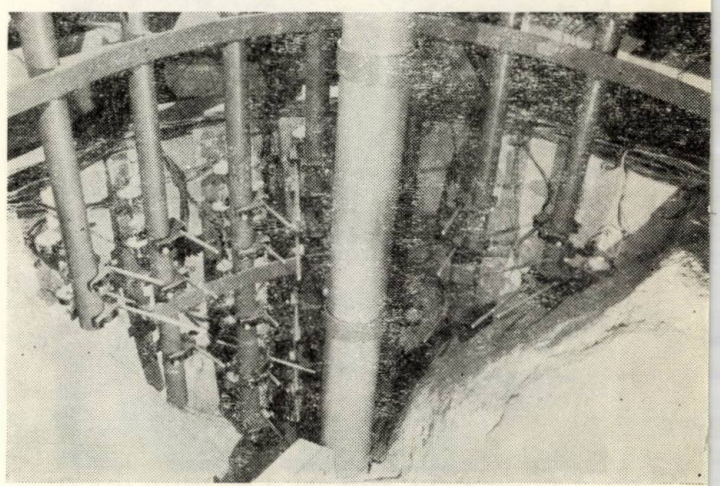


Fig. 9. Model tensometric pentru barajul Vidraru.

Metodele fotoelasticimetrice — plană şi spaţială (cu îngheţarea eforturilor) — au fost aplicate la studiul formei arcelor barajului Vidraru-Argeş, al eforturilor în jurul cavernei centralei subterane a CHE Argeş, al stării de eforturi în pereţii şi radierul ecluzei şi în pilele barajului de la SHEN Porţile de Fier etc.

În prezent se asimilează metoda lacurilor superficiale fotoelastice (metoda Photo-Stress), care permite determinarea operativă a eforturilor superficiale în modele spaţiale.

Modelele tensometrice au fost utilizate pe scară largă ca metodă de cercetare a stării de eforturi şi deformaţii şi, în unele cazuri, a coeficientului de siguranţă la ru-

pere a construcţiilor hidroenergetice. Au fost studiate cu această metodă barajele Negovanu, Sadu V, Secul, Cinciş, Teliuc şi Belciu. O serie de metode de diferite tipuri şi scări a fost cercetată pentru barajul Vidraru-Argeş, urmărindu-se starea de eforturi şi deformaţii sub influenţa particularităţilor fiecărui versant sub influenţa variaţiei caracteristicilor elastice ale rocii de fundaţie.

Tot cu ajutorul metodelor tensometrice au fost cercetate sasurile ecluzei, centrala şi pilele barajului de la SHEN Porţile de Fier.

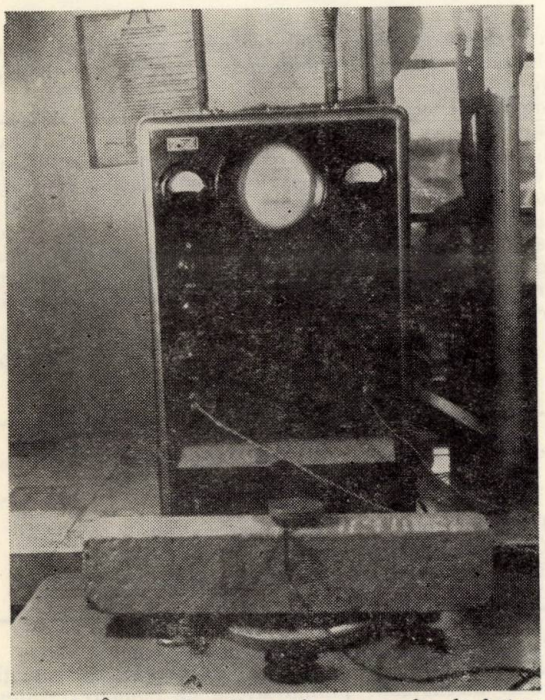


Fig. 10. Încercări nedistructive pe probe de beton.

Cercetarea comportării construcţiilor hidroenergetice la acţiuni dinamice — în primul rînd seismice — reprezintă o preocupare principală în cadrul studiului pe modele a acestor construcţii.

În domeniul hidroizolaţiilor şi al aplicării maselor plastice şi răşinilor sintetice s-au obţinut rezultate practice pentru protecţia betonului tînăr, pentru izolarea turnurilor de răcire (pe bază de bitum-latex) etc. În prezent, studiile efectuate au condus la obţinerea unor etanşări din masă plastică (PVC), fabricată în ţară, mai economice şi mai uşor de aplicat decît etanşările din tolă de cupru. Cercetarea răşinilor sintetice, şi în primul rînd a celor epoxidice (în colaborare cu ICECHIM), a dus la obţinerea unor rezultate interesante de laborator, privitoare la injectarea fisurilor din beton şi la protecţia betonului la cavitaţie, eroziune sau şoc, soluţiile obţinute urmînd a fi aplicate în scurt timp la lucrările de la SHEN Porţile de Fier.

O preocupare centrală în sectorul cercetării materialelor şi elementelor de construcţie a constituit-o realizarea aparaturii de laborator şi de şantier.

Astfel, în colaborare cu IFA s-a executat aparatura cu izotopi radioactivi pentru controlul şi cercetarea execuţiei barajelor de pămînt, în colaborare cu IRME aparatura acustică pentru măsurarea deformaţiilor în construcţiile de beton şi pentru măsurarea presiunii neutrale în materiale argiloase şi în beton. Tot în colaborare cu IRME s-a realizat un modulometru pentru determinarea pe cale nedistructivă a modulului de elasticitate şi a coeficientului de amortizare pe probe de beton. Se mai pot menţiona instalaţia pentru aplicarea pe şantier a izolaţiilor pe baza de bitum-latex, instalaţia pentru încercarea la eroziune hidrodinamică a betonului şi a materialelor de protecţie a acestuia, aparatura pentru încercare la curgere lentă a betonului, instalaţia de prese pentru încercarea modelelor tensometrice, instalaţia pentru cercetarea mortarului de ciment la acţiunea simultană a apei agresive şi a sarcinilor etc.

Cercetări hidraulice

O dată cu începerea activităţii de proiectare a construcţiilor hidroenergetice s-a resimţit şi necesitatea efectuării unor cercetări hidraulice, care să permită verificarea concepţiilor iniţiale prin încercări pe modele.

Rezultatele utile ale unor studii efectuate prin Academia R. S. România, sau laboratoare străine, au determinat în anul 1953 înfiinţarea unui colectiv de specialitate care a lucrat iniţial în alte laboratoare şi ulterior într-o bază proprie, improvizată pînă la realizarea unui nou laborator.

În primii ani, această Secţie de hidraulică s-a limitat la verificarea pe modele a unor proiecte de evacuatori, fără a se face studii cu caracter mai larg de generalizare. Pe măsură ce s-a adunat material experimental şi s-a trecut şi la alte tipuri de probleme a devenit însă necesară prelucrarea rezultatelor sub o formă care să permită aplicarea la un număr mai mare de probleme similare, fără a face în fiecare caz în parte încercări speciale. În acelaşi timp, s-a dezvoltat colaborarea directă între cercetători şi proiectanţi, prin asistenţa acordată permanent acestora la efectuarea de calcule şi la stabilirea de soluţii pe baza încercărilor anterioare pe model.

Numeroasele lucrări executate şi diversitatea lor accentuată au permis laboratorului hidraulic ca, într-o perioadă relativ scurtă, să-şi pună la punct metode proprii pentru dimensionarea galeriilor de deviere, prizelor tiroleze, deversorilor de joasă cădere, dezaeratorilor, conductelor de aerare, denisipatorilor la baraje mobile, denisipatorilor cu spălare continuă etc. şi să redacteze instrucţiuni interne pentru unele tipuri de calcule.

Pe măsură ce numărul construcţiilor executate a crescut, cercetătorii au trecut la verificarea pe teren a comportării lor, comparînd-o cu cea din încercări sau din calcule. S-a creat astfel o tradiţie a rapoartelor anuale asupra observaţiilor şi măsurătorilor pe teren şi s-a adunat un material interesant asupra denisipatorilor prizelor, rugozităţii canalelor etc. Concluziile principale ale acestor observaţii şi măsurători se aplică în proiectele noi, datorită legăturii strînse între cercetători şi proiectanţi.

Dacă la început s-au folosit aproape exclusiv metode mecanice de măsură, începînd din 1963 s-a dezvoltat un laborator de măsurători speciale în care s-a pus la punct metodologia determinării mărimilor hidraulice pulsatorii — presiuni, viteze, forţe hidrodinamice etc. Aceasta

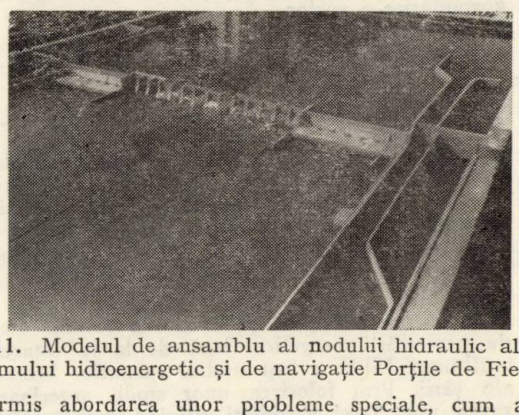


Fig. 11. Modelul de ansamblu al nodului hidraulic al Sistemului hidroenergetic şi de navigaţie Porţile de Fier.

a permis abordarea unor probleme speciale, cum ar fi condiţiile de scurgere în zona vanelor la golirile de fund, determinarea eforturilor în parîmele vaselor la umplerea ecluzelor etc. Prelucrarea acestor măsurători se face astăzi prin metode statistice, laboratorul elaborînd programe pentru utilizarea calculatoarelor electronice la aceste prelucrări.

Pe linia dezvoltării cercetărilor hidraulice trebuie menţionate noile direcţii constituite de hidraulica blocurilor hidrocentralelor şi a echipamentelor hidrodinamice, prin determinarea efectelor locale de ejecţie aval de turbine,

stabilirea elementelor pentru debitmetria de exploatare, studiul vibrației stavilelor etc.

Din cele arătate reiese multitudinea de probleme puse de proiectare unităților de studii și cercetări, a căror prezență în același institut permite un permanent schimb de idei între toți factorii care colaborează la abordarea soluțiilor noi și economice ale construcțiilor proiectate.

O dată cu sporirea exigenței în privința calității muncii depuse unitățile de studii și cercetări vor depune și în continuare eforturi pentru îmbunătățirea metodologiilor de studii și lărgirea domeniilor de cercetare, astfel încît, cu un prețios bagaj de experiență cîștigată în cei 20 ani de existență, să contribuie din ce în ce mai mult la creșterea economicității lucrărilor energetice realizate la noi în țară.

Evoluția concepției de proiectare a amenajărilor hidroelectrice

Ing. **A. Nourescu**, ing. **A. Cogălniceanu**, ing. **Gh. Luca** și ing. **D. Popescu**

Activitatea desfășurată în România în perioada 1949—1969 în domeniul amenajărilor hidroenergetice, care reprezintă ansambluri mari și complexe, de diferite construcții hidrotehnice și instalații hidromecanice și electrice, a cunoscut o deosebită dezvoltare atît în domeniul proiectării cît și al execuției. Această activitate se încadrează în politica de valorificare a bogățiilor naturale ale țării și are la bază prevederile Planului de electrificare.

În timp, în procesul de elaborare și realizare a diferitelor etape de electrificare a țării, s-a format concepția de proiectare a amenajărilor hidroelectrice, ținînd seamă de progresele pe plan mondial în acest domeniu, aplicate condițiilor specifice țării noastre.

Întreaga activitate de studii, cercetare și proiectare pentru amenajările hidroelectrice realizate, precum și pregătirea celor din perspectivă a revenit Institutului de studii și proiectări hidroenergetice (ISPH). Pentru probleme de strictă specialitate, ISPH a avut colaborarea institutelor Academiei R. S. România, a institutelor de învățămînt superior și a diferitelor institute de cercetări și proiectări de specialitate.

1. Concepția de utilizare a resurselor hidroenergetice

Concepția de proiectare a amenajărilor hidroelectrice s-a conturat pe baza studierii resurselor hidroelectrice ale României și a stabilirii liniei de utilizare a acestora, ținînd seamă de incidența principalilor factori energetici și de gospodărire a apelor.

O serie de studii privind resursele hidroenergetice ale țării au fost elaborate în perioada anterioară celui de-al doilea război mondial.

Astfel, se menționează lucrarea prof. Dorin Pavel „Plan général d'aménagement des forces hidrauliques en Roumanie", publicată în 1933, care cuprinde planurile de amenajare hidroenergetică ale principalelor cursuri de apă din țară. De asemenea, au fost efectuate studii și proiecte pentru amenajarea unor rîuri sau sectoare de rîu mai importante din punct de vedere hidroenergetic, de către Dorin Pavel, Cr. Mateescu, D. Leonida, C. Dinculescu ș.a.

Una dintre sarcinile principale care a revenit Institutului de proiectări energetice, încă de la înființarea sa și în continuare ISPH, a fost studiul resurselor hidroelectrice ale țării. Prin folosirea unor studii anterioare și organizarea unei largi activități privind recunoașteri de teren în toate bazinele hidrografice ale țării, organizarea unei rețele hidrometrice pentru studierea regimului de scurgere a rîurilor, efectuarea de ridicări topogeodezice și de studii geologice și geotehnice, s-au putut obține datele necesare întocmirii schemelor de amenajare ale cursurilor de apă.

Aceste studii aprofundate au permis stabilirea principalelor categorii de potențial hidroenergetic, pentru întreaga țară, valori prezentate în tabela 1 și figura 1.

În legătură cu potențialul economic amenajabil prezentat în tabela 1 se fac următoarele precizări, rezultate din studii ulterioare.

Potențialul economic amenajabil al rîurilor interioare se apreciază că este mai mare de 12 TWh/an. Aceasta se datorește, pe de o parte, reducerii investițiilor centralelor de joasă cădere, de pe cursul inferior al unor rîuri importante, ca Mureș, Someș, Criș etc., prin folosirea turbinelor-bulb, puse la punct în ultimii ani. Pe de altă parte, pe rîurile de munte, concentrarea energiei hidroelectrice în uzine de mare putere conduce de asemenea la creșterea potențialului economic amenajabil al rîurilor interioare.

Tabela 1

(în TWh/an)

Potențialul hidroenergetic	Total	Rîuri interioare	Dunărea
— Teoretic liniar	70	51,50	18,50
— Tehnic amenajabil	36	24,00	12,00
— Economic amenajabil	24	12,00	12,00

Referitor la potențialul Dunării, se remarcă faptul că întreg potențialul tehnic a fost considerat ca potențial economic amenajabil. Ținînd seamă de ponderea ridicată a lucrărilor de apărare a terenurilor riverane pe Dunărea inferioară (peste 50% din investiția totală), se menționează că potențialul economic amenajabil ar putea suferi modificări în funcție de soluțiile adoptate.

Ținînd seamă de cele arătate, se consideră în prezent că potențialul economic amenajabil al țării se ridică la 26—28 TWh/an.

ISPH se ocupă permanent de studierea sistematică a potențialului hidroenergetic, precizînd periodic mărimea potențialului tehnic și economic amenajabil, pe baza elementelor noi care se obțin.

Comparînd mărimea resurselor hidroenergetice cu consumul de energie electrică preconizat în perspectivă (circa 60 TWh în 1975 și 100 TWh în 1980), se constată că amenajările hidroelectrice nu pot să contribuie decît cu o pondere relativ mică la acoperirea cerințelor de energie electrică. Această situație se reflectă în concepția de utilizare a resurselor hidroelectrice, care poate fi rezumată în următoarele trăsături caracteristice :

— Utilizarea maximă a potențialului hidroenergetic, prin schemele de amenajare care se întocmesc pentru cursurile de apă.

— Obținerea unei energii hidroelectrice de calitate superioară, prin adoptarea unor scheme de amenajare adecvate și prin determinarea corespunzătoare a parametrilor energetici ai centralelor hidroelectrice. Amenajările hidroelectrice, datorită marii lor manevrabilități (pornire și oprire rapidă, viteză mare de încărcare, randamente ridicate la sarcini parțiale ș.a.), sînt cele mai indicate ca să aibă în sistemul energetic funcții de „putere", participînd în special la acoperirea părții variabile a consumului de energie electrică.

În acest scop, amenajările hidroelectrice trebuie să dispună de debite regularizate într-un lac de acumulare propriu sau situat în amonte și se dimensionează la o durată anuală redusă de utilizare a puterii instalate.

Aceasta are drept consecinţă îmbunătăţirea regimului de funcţionare a celorlalte mari centrale termo şi nucleoelectrice din sistemul energetic, centralele hidroelectrice fiind un element optimizator al întregului sistem energetic.

— Eşalonarea în timp a construcţiei de amenajări hidroelectrice, pentru a asigura o funcţionare economică şi sigură a întregului sistem energetic, în toate etapele sale de dezvoltare, şi o valorificare superioară a potenţialului hidroenergetic.

de funcţionare este subordonat folosinţelor neenergetice (Firiza, Paltinul, Bascov, Piteşti ş.a.).

Aceste trăsături caracteristice ale dezvoltării hidroenergeticii sînt puse în evidenţă în diagrama prezentată în figura 2. Deşi ponderea producţiei de energie hidroelectrică a scăzut de la 8% în 1950 la 6% în perioadele următoare, ponderea puterii amenajărilor hidroelectrice a crescut de la 8,1% în 1950 la 15,6% în 1967. Ca rezultat, durata anuală de utilizare a puterii instalate în amenajări hidroelectrice a scăzut, ajungînd la circa 2000 ore/an,

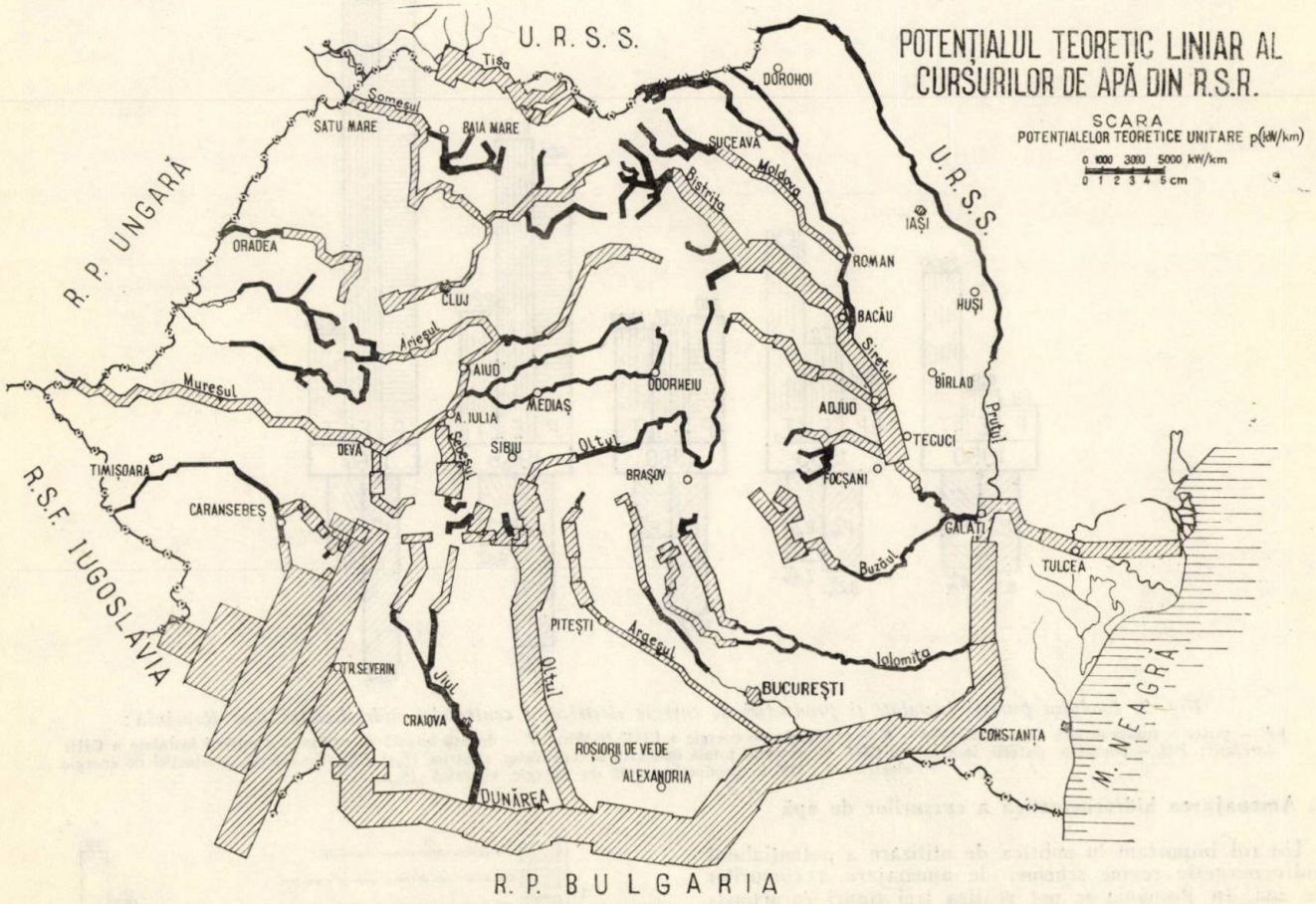


Fig. 1. Potenţialul teoretic liniar al cursurilor de apă din România.

— Condiţiile morfologice şi climatologice ale României fac ca cursurile de apă să aibă o lungime redusă şi debite relativ mici. Astfel numai patru cursuri de apă au debite medii multianuale mai mari de 100 m³/s (Siret, Mureş, Olt, Someş). Regimul debitelor prezintă variaţii mari în cursul anului. În regim natural, debitele medii lunare de vară cu asigurarea 80% scad în medie la 15—20%, iar debitele zilnice cu asigurarea de 97% la 4—8% din debitul multianual, astfel că nu pot satisface în multe cazuri cerinţele de apă pentru irigaţii sau alimentări cu apă potabilă şi industrială. Această situaţie a impus ca amenajările hidroelectrice de pe cursurile de apă interioare să aibă un caracter complex, asigurînd, pe lîngă producţia de energie electrică, şi cerinţele de apă ale altor folosinţe din bazin. Totodată se urmăreşte şi combaterea efectelor distructive ale apelor, prin atenuarea viiturilor şi combaterea inundaţiilor.

Astfel, spre exemplu, lacul de acumulare al centralei „V. I. Lenin"-Bicaz se prevede să asigure şi irigarea unor mari suprafeţe în Bărăgan, iar lacul centralei de pe Argeş, alimentarea cu apă a oraşelor Bucureşti şi Piteşti, irigarea a 70 000 ha şi atenuarea viiturilor rîului.

De asemenea, pe lîngă o serie de lacuri de acumulare create în special pentru alte folosinţe, s-au realizat sau sînt în construcţie centrale hidroelectrice al căror regim ceea ce pune în evidenţă caracterul de vîrf al majorităţii centralelor hidroelectrice.

Din diagrama din figura 3 se constată că cea mai mare parte din centralele hidroelectrice construite şi date în funcţiune în perioada 1950—1967 sînt centrale cu specific de vîrf, dispunînd de lacuri proprii de acumulare importante sau beneficiind de debitele regularizate în lacurile de acumulare din amonte.

Pentru a satisface şi alte folosinţe neenergetice ale apei, lacurile de acumulare ale amenajărilor hidroelectrice au fost realizate cu volume mai mari decît cele strict necesare energeticii. Aceasta se poate constata din ponderea ridicată a capacităţii energetice a lacurilor în comparaţie cu capacitatea medie de producţie a amenajărilor.

Atenţia acordată în perioada de după 1950 valorificării potenţialului hidroenergetic al ţării se pune în evidenţă prin ritmul de creştere al puterii instalate în amenajări hidroelectrice. În perioada 1950—1967, ritmul mediu anual de creştere a puterii CHE a fost de 16,5%, mai ridicat decît cel corespunzător creşterii puterii totale instalate în centrale electrice, care, în aceeaşi perioadă, a fost de 12,2%

În viitor se preconizează continuarea acestei concepţii de valorificare a resurselor hidroelectrice ale rîurilor

interioare. Dunărea, care prezintă o cotă însemnată din potențialul economic amenajabil al țării, este concepută în primul rînd ca o sursă de energie, amenajările de pe Dunăre putînd îndeplini în măsură mai mică funcțiile de putere pe care le au centralele hidroelectrice cu lacuri de acumulare de pe rîurile interioare.

trică „Gh. Gheorghiu-Dej" de pe Argeș, unde aducțiunile secundare ating 28 km, iar cele nouă captări secundare sporesc debitul mediu utilizat de la 7,3 m³/s la 19,3 m³/s.

La amenajarea de pe Lotru, în curs de execuție (fig. 4), aducțiunile secundare sînt și mai mult extinse. În lacul de acumulare Vidra debușează trei colectoare principale

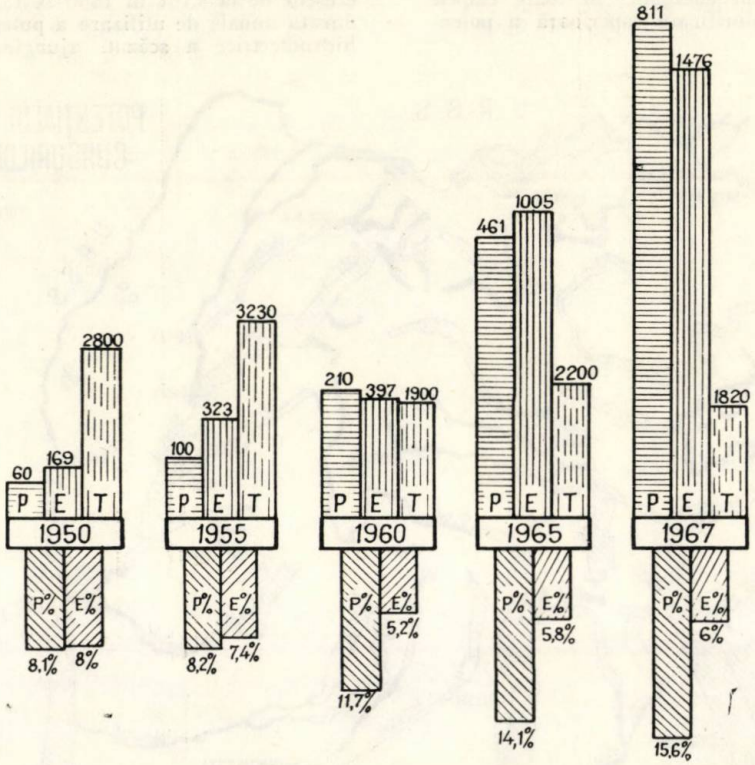


Fig. 2. Evoluția puterii instalate și producției de energie electrică a centralelor hidroelectrice din România:
P — puterea totală instalată în CHE (MW); *E* — producția de energie a CHE (GWh); *T* — durata anuală de utilizare a puterii instalate a CHE (ore/an); *P*% — ponderea puterii instalate a CHE în puterea totală instalată a centralelor electrice (%); *E*% — ponderea producției de energie electrică a CHE în producția totală de energie electrică (%).

2. Amenajarea hidroenergetică a cursurilor de apă

Un rol important în politica de utilizare a potențialului hidroenergetic revine schemei de amenajare a cursurilor de apă. În România se pot realiza trei tipuri caracteristice de amenajări hidroelectrice: amenajări de mare cădere în zona de munte, pe cursul superior al rîurilor, amenajări de joasă cădere pe cursul mijlociu și inferior și amenajări fluviale pe Dunăre. Treptat s-a dezvoltat construcția tuturor acestor tipuri de amenajări. Datele caracteristice ale CHE construite după 1950, ale celor în execuție și în proiect sînt prezentate în tabela 2.

Amenajările de mare cădere din zona de munte sînt concepute ca centrale de vîrf, fiind prevăzute cu lacuri de acumulare importante. Datorită strămutărilor și dezafectărilor mult mai reduse pe care le necesită acumulările de pe cursul superior al rîurilor în comparație cu cele de pe cursul lor mijlociu și inferior, lacurile din zona de munte urmăresc asigurarea regularizării debitelor atît pentru energetică cît și pentru alte folosințe de apă din bazin.

La amenajările de mare cădere s-a urmărit sistematic concentrarea energiei hidroelectrice în uzine de mare putere. În acest scop s-a utilizat pe scară largă concentrarea debitelor și căderilor. De la captarea și utilizarea unor afluenți ai rîului principal de pe traseul galeriei principale de aducțiune (cazul amenajărilor Moroeni, Sadu V), s-a trecut la ducțiuni secundare, care concentrează în lacul principal de acumulare debitele unor rîuri din alte bazine sau ale unor afluenți ai rîului principal care se varsă în aval de captarea principală.

O astfel de schemă s-a adoptat la centrala hidroelec-

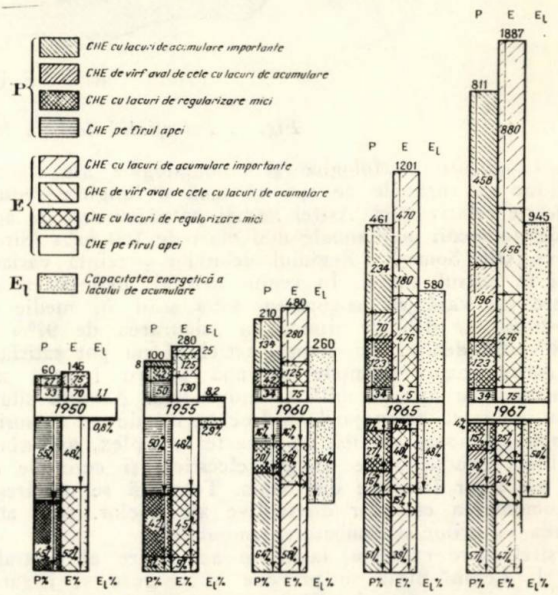


Fig. 3. Evoluția structurii centralelor hidroelectrice:
P — puterea totală instalată în CHE (MW); *E* — capacitatea anuală medie de producție a CHE (GWh); E_L — capacitatea energetică a lacurilor de acumulare (GWh); E_L% — capacitatea energetică a lacurilor de acumulare față de capacitatea de producție a CHE.

Tabela 2

Centrale hidroelectrice proiectate de ISPH

Nr. crt.	Denumirea CHE	Cursul de apă	Tipul	P_i MW	E_m GWh/an	V_{util} 10^6 m^3	Căderea m	Nr. de turbine şi felul lor	Anul punerii în funcţiune
1	Crăinicel	Bîrzava	DP	8,2	25	10	77/475/345	2P+2F	1952
2	Moroieni	Ialomiţa	DP	15	49	0,04	233,2	2P	1953
3	Sadu V	Sadu	DP	27	51	4,1	400	2P+1F	1955
4	Bicaz	Bistriţa	DP	210	392	930,0	143	(2+4)F	1960
5	Pîngăraţi	Bistriţa	UB	23	57	3,0	15,3	2 K	1964
6	Vaduri	Bistriţa	UC	44	90	1,5	26,3	2 K	1966
7	Piatra Neamţ	Bistriţa	UB	11	52	3,6	15	2 K	1964
8	Roznov I	Bistriţa	DC	14	60	—	20,8	4 K	1962
9	Roznov II	Bistriţa	DC	14	63	—	20,8	2 K	1963
10	Zăneşti	Bistriţa	DC	14	63	—	20,2	2 K	1964
11	Costişa	Bistriţa	DC	14	64	—	20,2	2 K	1964
12	Buhuşi	Bistriţa	DC	11	50	—	15,8	2 K	1965
13	Racova	Bistriţa	DC	23	60	4,5	16	2 K	1965
14	Gîrleni	Bistriţa	DC	23	61	1,0	16,4	2 K	1965
15	Bacău I	Bistriţa	DC	23	56	1,4	16,1	2 K	1966
16	Bacău II	Bistriţa	DC	30	74	0,8	20	4 K	1966
17	Gh. Gheorghiu-Dej	Argeş	DP	220	406	320,0	324	4 F	1966
18	Oeşti	Argeş	DC	15	29	0,7	20,5	2 K	1967
19	Albeşti	Argeş	DC	15	28	—	20,5	2 K	1967
20	Strîmtori	Firiza	UB	4	8	14,3	43	1 F	1967
21	Cerbureni	Argeş	DC	15	30	1,1	20,5	2 K	1968
22	Valea Iaşului	Argeş	DC	15	29	—	20,5	2 K	1969
23	Vîlsan	Vîlsan	DP	5	15	0,12	111,5	1 F	1968
24	Cumpăniţa	Cumpăniţa	DP	5	15	0,16	101,5	1 F	1968
25	Porţile de Fier	Dunărea	UF	1 050	5 000	150,0	33	6 K	în construcţie
26	Lotru Ciunget	Lotru	DP	500	900	300,0	809	3 P	în construcţie
27	Paltinul	Doftana	UB	10	30	53,5	90	2 F	în construcţie
28	Bascov	Argeş	UB	7,7	14	4,5	10,5	2 K	în construcţie
29	Piteşti II	Argeş	UB	7,7	19	3,2	10,5	2 K	în construcţie
30	Mărişelu	Someş	DP	220	390	200	470	3 F	în proiectare
31	Tarniţa	Someş	UB	45	80	30	80	2 F	în proiectare
32	Gîlceag	Sebeş	DP	150	260	126	465	2 F	în proiectare
33	Şugag	Sebeş	DP	150	260	18,5	381	2 F	în proiectare

(nord, sud şi vest), care ating peste 125 km în total, şi, prin 90 captări secundare, sporesc debitul mediu utilizat de la 4,2 la 15,5 m^3/s.

Extinderea captărilor secundare, deşi conduce la creşterea potenţialului economic amenajabil, reduce însă potenţialul tehnic amenajabil, prin limitarea posibilităţilor de folosire a rîurilor al căror curs superior a fost derivat în alte bazine. Din această cauză, derivările din bazinele învecinate se examinează atent, pentru fiecare caz în parte, ţinînd seamă de condiţiile specifice de amenajare hidroenergetică şi de gospodărire a apelor din fiecare bazin.

Astfel, spre exemplu, la amenajarea Someşului superior s-au justificat derivaţii secundare din bazinul Someşului şi din bazinul învecinat al rîului Iara, cu o lungime de 26 200 m. În cazul amenajării Sebeşului, derivaţiile secundare ale unor rîuri din bazinul Sebeşului şi al Cugirului totalizează, pentru ambele trepte, 28 700 m (fig. 5 şi 6).

Trebuie remarcat faptul că în acţiunea de extindere a captărilor secundare a fost necesar, în cadrul amenajării Lotrului şi Sebeşului, să se prevadă şi staţii de pompare pe aducţiunile secundare.

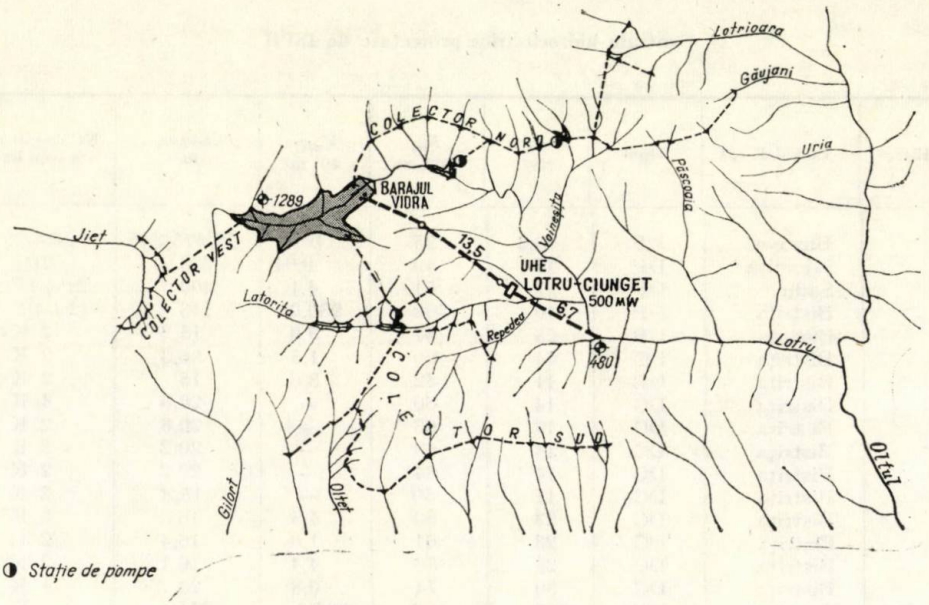
Pentru a accentua *concentrarea căderilor,* s-au adoptat soluţii cu centrala amplasată în subteran, continuată cu galerii de fugă pentru evacuarea debitelor. În acest mod creşte lungimea totală a derivaţiei, permiţînd obţinerea unor căderi mari. La amenajarea de pe Lotru, lungimea totală a derivaţiei principale este de 20 500 m (din care 6 700 m galeria de fugă), ceea ce permite obţinerea unei căderi maxime de 809 m ; la amenajarea de pe Someş, derivaţia principală de 11 800 m (din care 3 700 m galeria de fugă) permite obţinerea unei căderi de 470 m, iar la cele două amenajări de pe Sebeş lungimile derivaţiilor de 8 700 m şi respectiv 13 500 m dau posibilitatea utilizării unor căderi de 465 m, respectiv 381 m.

Ca rezultat al concentrării debitelor şi căderilor, puterea amenajărilor hidroelectrice a crescut continuu. Este interesant de menţionat că, prin aplicarea schemelor clasice de amenajare, puterea care se obţinea era de 40 MW la Argeş şi 70 MW la Lotru. Utilizarea concentrării debitelor şi căderilor a condus la creşterea puterii pînă la 220 MW la Argeş şi 500 MW la Lotru. Aplicarea acestor principii de amenajare ridică totodată eficienţa economică a amenajărilor.

În proiectarea *amenajărilor de joasă cădere* s-a dat atenţie în primul rînd cursurilor de apă la care s-au realizat, pe cursul superior, amenajări cu lacuri de acumulare importante. Prin aceasta, uzinele din aval beneficiază de debite regularizate şi de debite maxime atenuate datorită lacurilor din amonte, iar potenţialul hidroenergetic este mai mare, datorită concentrării debitelor ca rezultat al derivărilor realizate din alte bazine.

Datorită acestei situaţii a devenit posibil şi economic să se dimensioneze o mare parte din cascadele de centrale de joasă cădere ca centrale de vîrf.

În amenajarea centralelor de joasă cădere s-a urmărit sistematic amenajarea integrală a cursurilor de apă. În acest mod s-a realizat amenajarea rîului Bistriţa în aval de CHE „V. I. Lenin"-Bicaz pînă la Bacău şi amena-



◑ Stație de pompe

Fig. 4. Schema de amenajare a CHE Lotru.

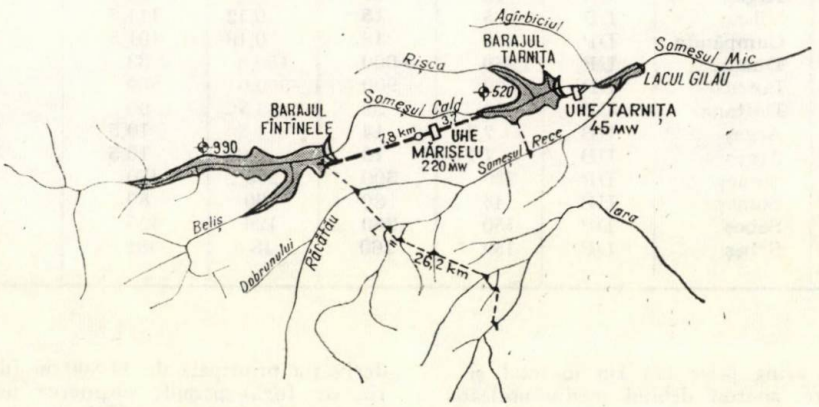


Fig.5 . Schema de amenajare a rîului Someș.

jarea Argeșului în aval de CHE „Gh. Gheorghiu-Dej", din care s-au dat deja în funcțiune trei centrale.

În construcția acestor centrale se urmărește sistematic unificarea treptelor de amenajare, tipizarea debitelor, căderilor și construcțiilor hidrotehnice. Astfel, cele 12 centrale de pe Bistrița inferioară au fost echipate cu agregate de patru tipodimensiuni caracteristice, iar cele opt baraje de pe Argeș cu trei tipodimensiuni de stavile. La cele patru centrale de pe Argeșul mijlociu, proiectate mai tîrziu, s-a utilizat un singur tip de agregat și de stavilă. Aceasta permite fabricarea unor serii mari de agregate de același tip, ușurează proiectarea, scurtează durata de execuție a lucrărilor și simplifică exploatarea centralelor respective.

La proiectarea amenajării Oltului pe cursul său mijlociu și inferior, s-a urmărit de asemenea obținerea unei game cît mai mici de căderi. Ținînd seamă de posibilitatea realizării ulterioare a unor acumulări importante pe acest rîu (Brezoi, Veneția ș.a.), s-a prevăzut echiparea inițială a acestor centrale cu două agregate, urmînd ca ulterior să se atingă profilul final prin montarea și celui de-al treilea agregat, ceea ce va transforma aceste amenajări în centrale de vîrf.

În cazul în care centralele hidroelectrice proiectate sînt situate în zone industriale sau urbane, schema de amenajare a fost rezolvată totdeauna în strînsă legătură cu sistematizarea de ansamblu. În zonele industriale Pitești și Rîmnicul Vîlcea, la care amenajările hidroelectrice reprezintă o parte componentă principală, s-a realizat coroborarea schemei hidroelectrice cu cea a căilor de comunicație, barajele și digurile fiind prevăzute să permită trecerea legăturilor rutiere și feroviare peste rîurile Argeș și Olt.

În cazul amplasării lucrărilor hidrotehnice în zone mai izolate (cazul CHE Lotru, Someș, Sebeș), proiectele amenajărilor hidroelectrice au fost corelate cu schițele de sistematizare microregională sau turistică ale zonelor respective.

Această concepție de amenajare și colaborarea strînsă cu toți factorii interesați permit o dezvoltare multilaterală a localităților și regiunilor în care se realizează amenajările hidroelectrice. Hidroenergetica este, din acest punct de vedere, un factor dinamic inițial care activizează dezvoltarea regiunilor și valorificarea complexă a bogățiilor lor.

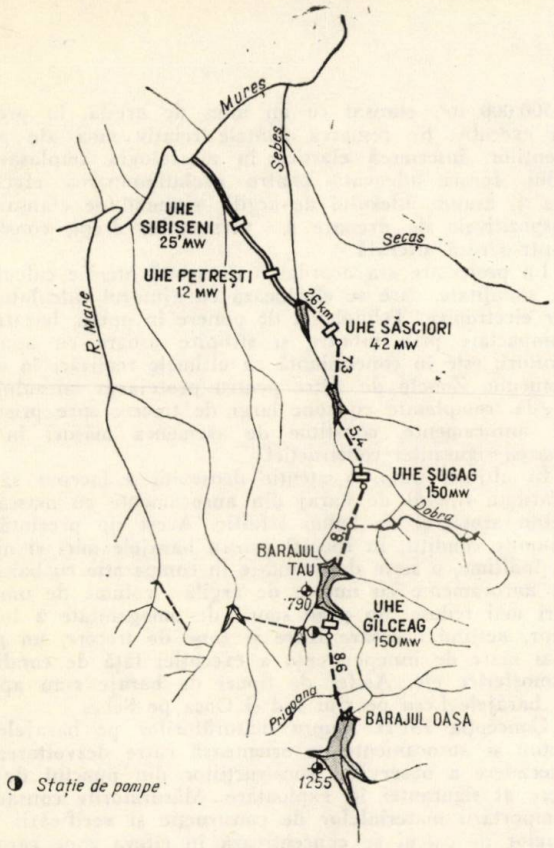


Fig. 6. Schema de amenajare a rîului Sebeș.

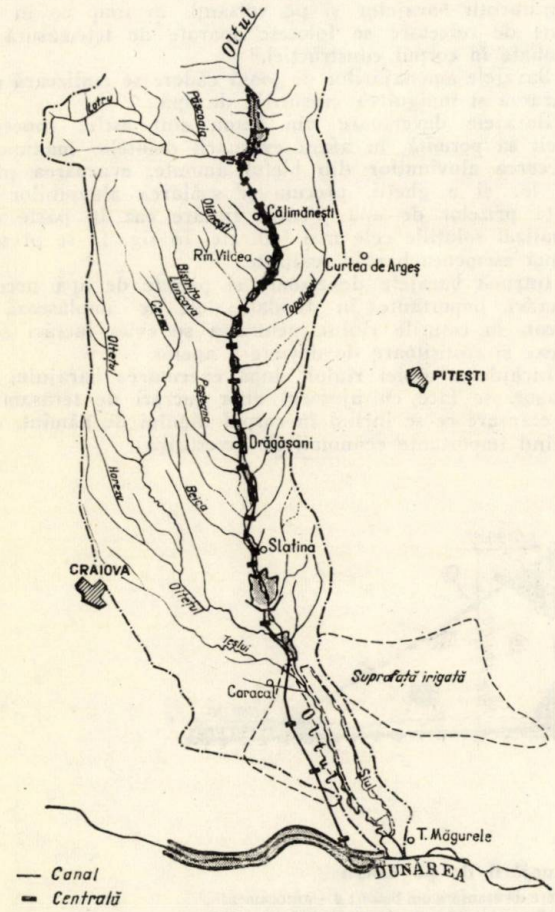


Fig. 7. Schema de amenajare a Oltului inferior.

3. Proiectarea barajelor

Ampla dezvoltare a construcției de centrale hidroelectrice după 1950 a dat un impuls puternic proiectării și realizării de baraje. Pe baza proiectelor elaborate s-au construit atît barajele amenajărilor hidroelectrice executate sau în construcție, cît și unele baraje importante pentru alte folosințe neenergetice, în special alimentări cu apă industrială (barajele Secu, Cinciș, Belci, Timiș-Trei Ape ș.a.).

În proiectarea barajelor s-a urmărit continuu și sistematic adoptarea și construirea tipurilor celor mai indicate tehnic și economic, în condițiile naturale geologice și topografice ale amplasamentelor existente.

În prima etapă s-a dezvoltat construcția barajelor de beton. După terminarea barajului Izvorul Muntelui, baraj de greutate, remarcabil prin înălțimea sa de 127 m, volumul mare de beton pus în operă (1 625 000 m³) și condițiile geologice dificile de fundare, condițiile naturale ale altor amplasamente au permis adoptarea unor tipuri de baraje cu volume reduse de beton, în special baraje în arc. Profilele caracteristice ale principalelor baraje de beton executate, în construcție și proiectate sînt arătate în figura 8.

Dintre acestea se remarcă barajul în arc Vidraru, care, la data punerii sub sarcină, în 1966, era, prin înălțimea sa de 166 m, al cincilea baraj din Europa și al nouălea din lume.

Barajul în arc Cinciș, care deși are o înălțime medie (48 m), a fost construit într-o vale mai largă, raportul între lățimea văii și înălțimea barajului fiind de 3,6, raport relativ mare pentru un baraj în arc.

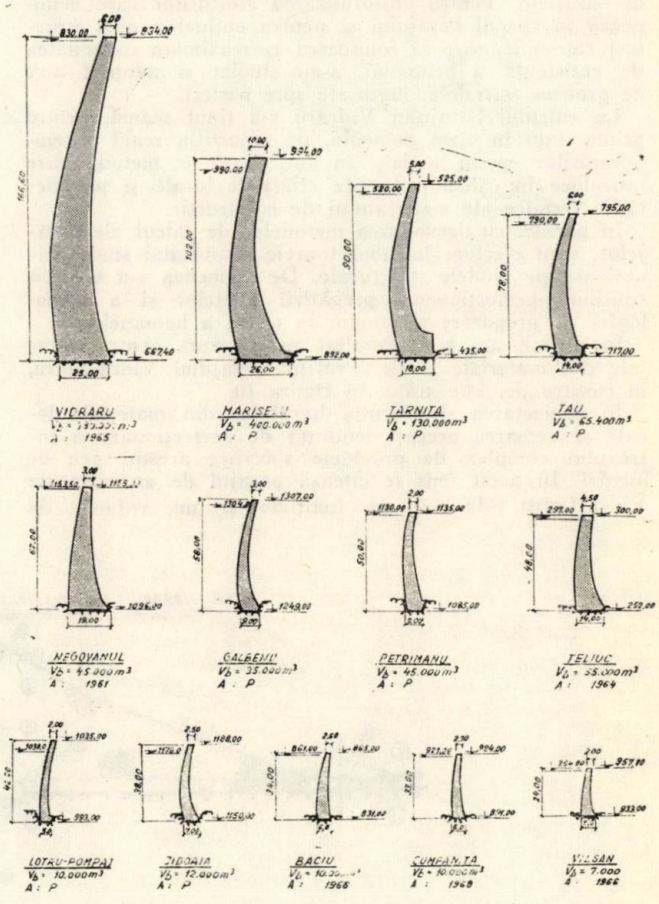


Fig. 8. Profile transversale ale barajelor în arc proiectate de ISPH:

Vb — volumul de beton al barajului; *A* — anul terminării construcției; *P* — proiect.

Barajul Secul este primul baraj cu contraforți construit în țară, pe baza proiectelor institutului.

În proiectarea și execuția barajelor de beton se remarcă preocuparea și progresul continuu în soluționarea întregului complex de probleme ce concură la realizarea acestor lucrări.

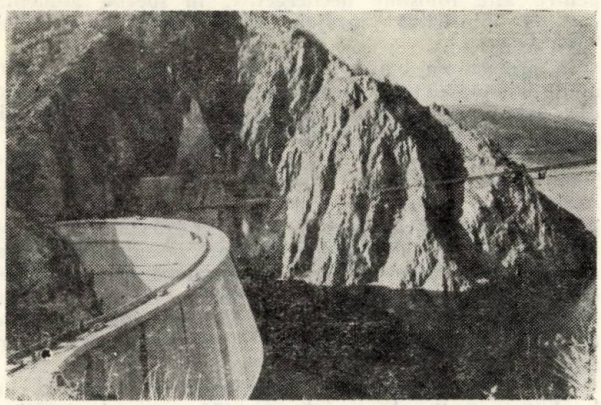


Fig. 9. Barajul Vidraru al amenajării de pe Argeș.

Astfel, la calculul barajelor în arc s-a aplicat în prima etapă metoda mai aproximativă a egalării deplasărilor în secțiunea centrală sub acțiunea presiunii hidrostatice. Ulterior, s-a utilizat metoda rețelelor și a sarcinilor de probă, care ține seamă mai complet de modul de lucru al barajelor. Pentru uniformizarea eforturilor care acționează în corpul barajului și pentru obținerea unei structuri raționale, care să folosească la maximum capacitatea de rezistență a betonului, s-au studiat și adoptat arce de grosime variabilă, îngroșate spre nașteri.

La calculul barajului Vidraru s-a ținut seamă, pentru prima dată în acest domeniu, de repartiția reală a temperaturilor medii anuale în lac, după o metodă care introduce în calcul condițiile climatice locale și proprietățile termice ale materialului de construcție.

În paralel cu dezvoltarea metodelor de calcul ale barajelor, s-au efectuat în laboratoarele institutului studii minuțioase pe modele structurale. De asemenea s-a urmărit continuu perfecționarea pregătirii rețetelor și a tehnologiei de preparare și punere în operă a betoanelor.

În ultimii ani s-a dezvoltat preocuparea pentru barajele din materiale locale. Profilul barajului Vidra-Lotru, în construcție, este arătat în figura 10.

În proiectarea și execuția barajelor din materiale locale se remarcă aceeași tendință de perfecționare a întregului complex de probleme specifice acestui gen de lucrări. În acest sens se citează barajul de anrocamente Vidra-Lotru, de 121 m înălțime și un volum de 3 500 000 m³, etanșat cu un miez de argilă, în prezent în execuție. Se remarcă pantele relativ mici ale paramenților, înscrierea elastică în morfologia amplasamentului, forma adecvată pentru preîntîmpinarea efectelor tasării asupra miezului de argilă, sistemul de etanșare și dispozitivele de drenare a versantului drept, constituit dintr-o rocă alterată.

La proiectare s-a acordat o deosebită atenție calculelor de stabilitate, care se efectuează cu ajutorul calculatoarelor electronice. Tehnologia de punere în operă, bazată pe compactare prin vibrare și stropire ușoară cu apă, în straturi, este în concordanță cu ultimele realizări în acest domeniu. Zonele de filtre pentru protejarea miezului de argilă, completate cu zone largi de trecere spre prismele de anrocamente, constitue de asemenea măsuri în favoarea siguranței construcției.

În ultimul timp, o atenție deosebită a început să fie acordată tipului de baraj din anrocamente cu mască de beton armat și de beton asfaltic. Acest tip prezintă, în anumite condiții, în special pentru barajele mici și medii ca înălțime, o serie de avantaje în comparație cu barajele de anrocamente cu nucleu de argilă: volume de umpluturi mai reduse, un grad sporit de omogenitate a lucrărilor, nefiind necesare filtre și zone de trecere, un grad mai mare de independență a execuției față de condițiile atmosferice etc. Astfel de tipuri de baraje s-au aplicat la barajele Leșu pe rîul Iad și Oașa pe Sebeș.

Concepția ISPH asupra măsurătorilor pe barajele de beton și anrocamente se orientează către dezvoltarea cu precădere a observării construcțiilor din punctul de vedere al siguranței în exploatare. Măsurătorile consacrate comportării materialelor de construcție și verificării ipotezelor de calcul se concentrează în cîteva zone caracteristice ale barajelor. Pentru măsurătorile legate de siguranța în exploatare se folosesc în general dispozitive și aparate cu observare vizuală, instalate în exterior, pe paramenții barajelor și pe versanți, în timp ce în scopuri de cercetare se folosesc aparate de telemăsură înglobate în corpul construcției.

Barajele amenajărilor de joasă cădere se realizează prin bararea și îndiguirea cursurilor de apă.

Barajele deversoare din beton sînt astfel concepute încît să permită, în afara evacuării debitelor maxime, și trecerea aluviunilor din bieful amonte, evacuarea plutitorilor și a gheții, precum și spălarea aluviunilor din fața prizelor de apă. Pentru fiecare caz în parte s-au analizat soluțiile cele mai indicate. În fig. 11 se prezintă două asemenea baraje realizate.

Întrucît barajele deversoare și prizele de apă necesită lucrări importante în fundații, ele se amplasează pe uscat, în coturile rîului, pentru a se evita lucrări complexe și costisitoare de deviere a apelor.

Închiderea albiei rîului, după executarea barajului deversor, se face cu ajutorul unor lucrări de terasamente și etanșare ce se includ în corpul digului de pămînt, realizînd importante economii de investiții.

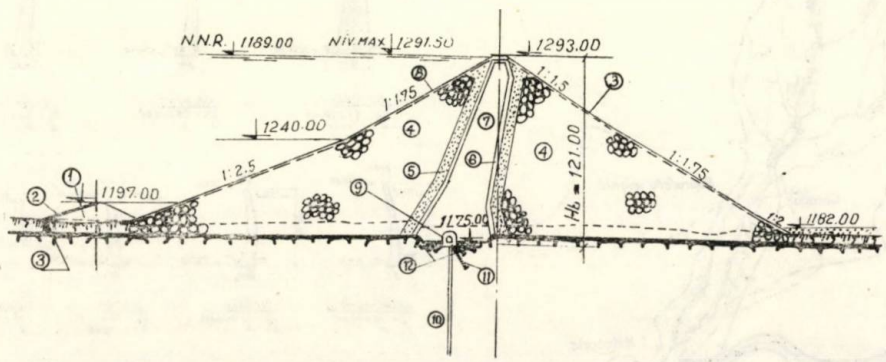
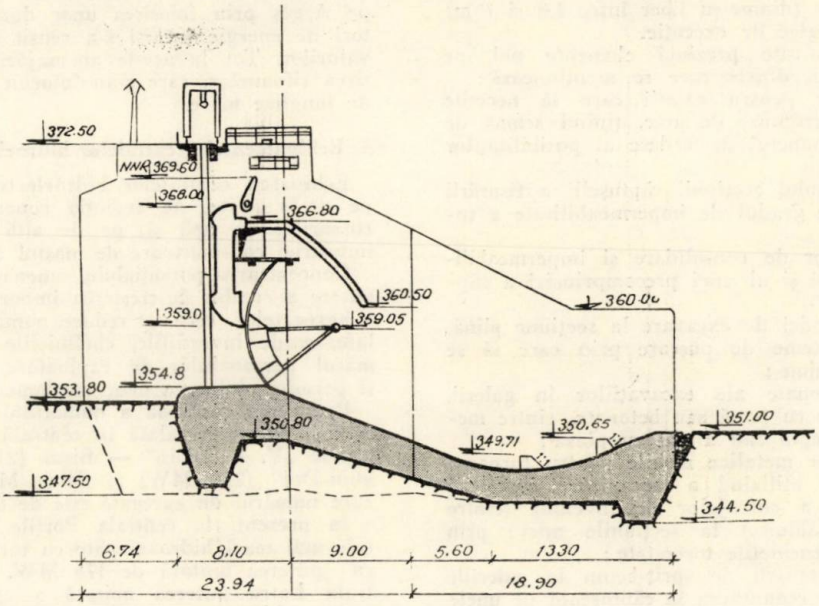


Fig. 10. Barajul Vidra al amenajării de pe Lotru

1 — batardou amonte; *2* — pereu din plăci de beton; *3* — pintere de etanșare din beton; *4* — anrocamente; *5* — zonă de trecere; *6* — filtru; *7* — nucleul de argilă; *8* — anrocamente de protecție pe paramenți; *9* — galeria de injecții; *10* — voalul de etanșare (l = 57 m); *11* — foraje de drenaj, 12 — injecții de consolidare.

BARAJUL PÎNGĂRAȚI - BISTRIȚA



BARAJUL CERBURENI - ARGEȘ

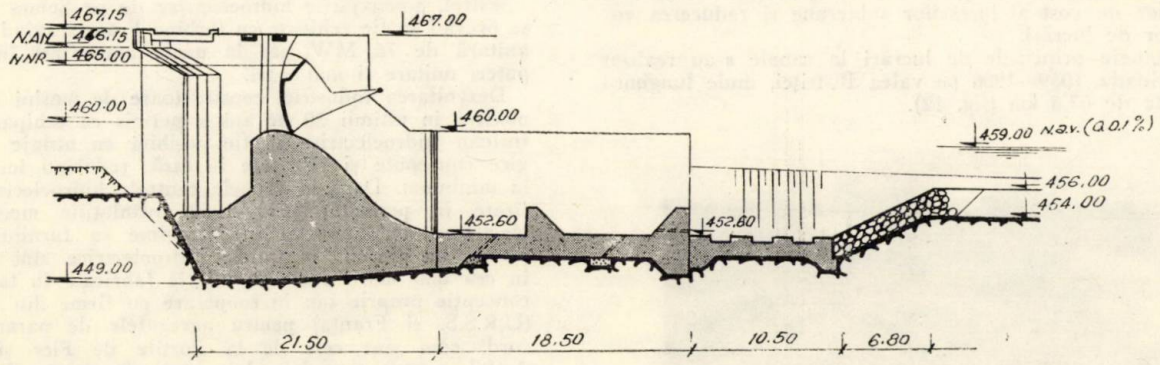


Fig. 11.

O tendință continuă în realizarea acestor lucrări a constat în tipizarea deversoarelor ca mărime, număr de deschideri și tip de stavilă.

Digurile de pămînt ale acestor baraje sînt constituite din materialul aluvionar din albie. Etanșarea digurilor se face prin nuclee din argilă sau peree din beton armat. Etanșarea în profunzime, pînă la roca de bază a orizontului aluvionar de sub corpul digurilor, se face prin metode economice și ușor de executat : ecrane din pereți continui de beton sau din gel-beton. Se economisesc astfel importante cantități de palplanșe metalice sau pinteni din beton.

La prizele de apă sub presiune, deși soluțiile au fost mult influențate de condițiile locale, ele au fost totuși în continuă perfecționare. Astfel, dacă soluțiile de ansamblu de la Sadu V și Bicaz sînt similare, în sensul că au cîte o singură vană și mașină de curățat, în cazul centralei hidroelectrice de pe Argeș s-a renunțat la instalarea unei mașini de curățat, curățirea făcîndu-se prin barbotare cu aer comprimat, iar închiderea se realizează cu două vane (una plană și alta fluture). La Lotru, soluția este mai evoluată, cele două vane fiind de tip batardou, iar grătarele se curăță prin extragerea lor la suprafață pe un plan înclinat.

4. Proiectarea derivațiilor

Soluțiile tehnice din proiectele elaborate și realizate au prezentat o continuă evoluție și perfecționare și în domeniul derivațiilor. Subliniem în mod deosebit faptul că majoritatea centralelor hidroelectrice proiectate și executate în ultimele două decenii sînt uzine cu derivație prin galerii (Moroeni, Sadu II, „V. I. Lenin" — Bicaz, „Gh. Gheorghiu-Dej" — Argeș, Lotru), sau canale (cascada de hidrocentrale de pe Bistrița și cea de pe Argeș). Ponderea investițiilor consumate pentru realizarea acestor derivații în unele cazuri este importantă, cum este cazul CHE Lotru, unde depășește cu mult costul pentru celelalte construcții. Prin soluțiile tehnice aplicate s-a reușit să se realizeze importante reduceri de investiții.

În ceea ce privește derivațiile, fie sub formă de galerii sub presiune sau cu liberă scurgere, fie sub formă de canale, soluțiile tehnice au evoluat continuu.

Lungimea galeriilor realizate pe baza proiectelor ISPH este de numai circa 15 km în perioada pînă în 1960. După această dată, lungimea galeriilor aproape se triplează. Astfel numai la Argeș s-a realizat o lungime de circa 42 km, iar la Lotru se găsește în execuție, încă din 1966, o derivație principală de 20,5 km și din 1968 s-a

început și execuția galeriilor pentru aducțiuni secundare care au o lungime totală de circa 125 km.

Galeriile realizate pe baza proiectelor ISPH sînt foarte diferite atît ca secțiune (diametru liber între 1,8 și 7 m) cît și ca condiții geologice de execuție.

Soluțiile tehnice aplicate prezintă elemente noi, pe ansamblu și în detaliu, dintre care se menționează :

— alegerea traseelor pentru galerii care să necesite un număr minim de fronturi de atac, ținînd seamă de lungimea optimă din punctul de vedere al posibilităților de execuție ;

— admiterea în calculul secțiunii căptușelii a fisurării betonului în funcție de gradul de impermeabilitate a rocilor străbătute ;

— folosirea injecțiilor de consolidare și impermeabilizare în scopul realizării și al unei precomprimări a căptușelii ;

— generalizarea metodei de excavare la secțiune plină, cu adoptarea unor sisteme de pușcare prin care să se obțină supraprofile minime ;

— sprijiniri perfecționate ale excavațiilor în galerii, prin folosirea ancorelor cu pană sau betonate, cintre metalice și spriț-beton simplu sau armat cu plasă ;

— folosirea cofrajelor metalice mobile pentru turnarea căptușelilor din beton, utilizînd o mecanizare complexă la secțiunile mari și a cofrajelor de inventar (cintre metalice și panouri tăbluite) la secțiunile mici ; prin aceasta s-au eliminat tencuielile torcretate ;

— folosirea unor căptușeli de spriț-beton la galeriile de profil mic sau chiar renunțarea la căptușeală pe unele porțiuni cu rocă tare și nedegradabilă în timp ;

— folosirea unor utilaje de mare productivitate pentru operațiile principale de la excavare (forare, încărcare și transport).

Aceste elemente au permis o îmbunătățire continuă a indicilor de cost ai lucrărilor subterane și reducerea volumelor de lucrări.

Volumele principale de lucrări la canale s-au realizat în perioada 1959—1966 pe valea Bistriței, unde lungimea lor este de 67,3 km (fig. 12).

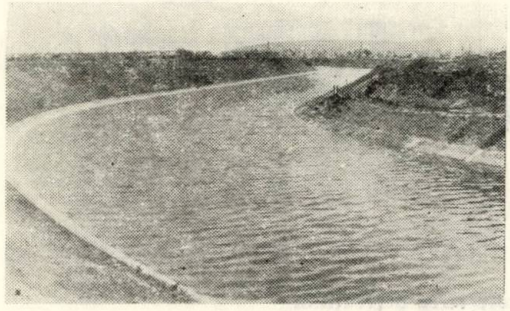


Fig. 12. Vedere a canalului unei amenajări de pe Bistrița

Dintre elementele noi aplicate în soluțiile tehnice ale acestor lucrări amintim :

— mecanizarea complexă a lucrărilor de terasamente prin folosirea unor utilaje de mare productivitate la excavare și umpluturi (excavatoare cu cupă pînă la 3 m^3 capacitate, transporturi cu autocamioane de mare tonaj — 27 t, compactoare de 12 t etc.) ;

— folosirea unor trasee de canale cu o balanță a săpăturilor și umpluturilor relativ echilibrată ;

— mecanizarea complexă a lucrărilor de betonare a pereelor cu beton monolit ;

— utilizarea unor soluții de căptușeli speciale pentru zonele de loessuri și lehmuri, prin tratarea prealabilă a taluzelor cu loess stabilizat în lac.

Tot în cadrul canalelor mai amintim soluțiile uvrajelor adiacente centralelor de pe canale : camerele de încărcare, descărcătoarele și bazinele de liniștire. Soluțiile tehnice ale acestor uvraje au progresat de la o etapă la alta. La camerele de încărcare și bazinele de liniștire, zidurile de racord și-au perfecționat atît forma hidraulică cît și structurile de beton casetate, urmărindu-se reducerea consumului de oțel. Descărcătoarele de avarii și-au perfecționat forma și mărit eficacitatea. Astfel, la centralele de pe Argeș prin folosirea unor descărcătoare cu distrugători de energie închiși s-a reușit o atenuare completă a valurilor. Tot la aceste amenajări s-a renunțat la folosirea sifoanelor, care s-au înlocuit cu deversoare laterale de lungime mare.

5. Echipamentele centralelor hidroelectrice

Echiparea centralelor hidroelectrice a fost influențată, pe de o parte, de evoluția concepției de amenajare a cursurilor de apă și, pe de altă parte, de dezvoltarea industriei constructoare de mașini din țara noastră.

Concentrarea potențialului amenajat în centrale de mare putere a condus la creșterea importantă a puterii unitare a agregatelor, ceea ce reduce numărul de agregate instalate, scade investițiile, cheltuielile de exploatare și numărul personalului de exploatare, simplifică instalațiile și permite obținerea unor randamente mai ridicate.

Reducerea continuă a numărului de agregate pentru o aceeași putere instalată în centrală este ilustrată de centralele „V. I. Lenin" — Bicaz (210 MW), „Gh. Gheorghiu-Dej" (220 MW) și Someș-Mărișelu (220 MW), la care numărul de agregate este de 6, 4 și 3.

În prezent, la centrala Porțile de Fier se instalează cele mai mari hidroagregate cu turbine Kaplan din lume, cu puterea unitară de 175 MW. De asemenea, la centrala Lotru puterea unitară a agregatelor echipate cu turbine Pelton verticale, cu 6 jeturi, este de 166,7 MW și nu este depășită pe plan mondial decît de o singură altă amenajare. În domeniul agregatelor cu turbine Francis se va înregistra în perioada următoare (pînă în 1975) o evoluție similară.

Astfel, amenajările hidroelectrice de pe Someș și Sebeș se prevăd să fie echipate cu turbine Francis avînd puterea unitară de 75 MW, iar la unele amenajări în studiu, puteri unitare și mai mari.

Dezvoltarea industriei constructoare de mașini din țara noastră în ultimii 20 de ani a permis ca echiparea centralelor hidroelectrice să fie posibilă cu utilaje tehnologice concepute și fabricate în țară, reducînd importurile la minimum. Dacă la primele centrale hidroelectrice realizate în perioada 1950—1960 instalațiile mecanice și electrice s-au importat în întregime ca furnitură complexă, în prezent centralele hidroelectrice sînt echipate în cea mai mare parte cu utilaje fabricate în țară după concepție proprie sau în cooperare cu firme din alte țări (U.R.S.S. și Franța) pentru agregatele de parametri-record, cum sînt cele de la Porțile de Fier și Lotru. Astfel, pentru cascadele deja realizate de pe Bistrița și Argeș, industria noastră constructoare de mașini a asigurat integral furnizarea echipamentelor, utilajelor și materialelor necesare echipării lor. Pentru aceste centrale s-au fabricat în țară 32 de hidroagregate însumînd o putere de 290 MW.

Caracteristic pentru industria constructoare de mașini este trecerea treptată la asimilarea fabricării de noi tipuri de turbine și la realizarea, în cadrul unui anumit tip, de agregate de putere unitară tot mai mare (tabela 3).

Instalațiile mecanice și electrice ale centralelor realizate sau proiectate în perioada analizată au evoluat și ca urmare a introducerii în concepția acestor instalații a noilor realizări pe plan mondial în acest domeniu.

Astfel, în domeniul echipamentelor de bază (turbine, generatoare, transformatoare) s-au prevăzut în proiectele elaborate de ISPH :

— agregate de tip bulb pentru echiparea centralelor de joasă cădere ;

— extinderea utilizării turbinelor Francis de căderi mari, pînă la 150 m ;

— utilizarea sistemelor de excitație statică cu tiristoare pentru generatoare și diverse aparataje de protecție, comandă și automatizare ;

— utilizarea tolelor laminate la rece în construcția transformatoarelor ;

— introducerea regulatoarelor de turație de tip electrohidraulic.

Tabela 3

Datele caracteristice ale principalelor hidroagregate executate şi în curs de fabricaţie la U.C.M. Reşiţa

Nr. crt.	Turbina				Generatorul		
	Tipul	Puterea, MW	Cădere de calcul, m	Turaţia, rot/min	Puterea, MVA	Tensiunea, kV	Buc.
1	Kaplan	11,5	14,50	136,4	12,5	6,3	8
2	Kaplan	22,5	26,20	187	25	10,5	2
3	Kaplan	5,55	15,30	214,3	6,2	6,3	4
4	Kaplan	7,3	20,00	250	8,5	6,3	10
5	Kaplan	8,0	20,25	250	8,85	6,3	8
6	Kaplan	4,2	38	428,6	5,70	6,3	1
7	Kaplan	178,0	27,16	71,5	190	15,75	3
8	Francis	5,4	80	600	5,8	6,3	2
9	Pelton	166,7	730	375	185	15,75	2

În domeniul echipamentelor hidromecanice (stavile, vane etc.), creşterea dimensiunilor stavilelor şi vanelor impusă de mărimea amenajărilor a fost posibilă datorită utilizării unor oţeluri de calitate superioară şi adoptării pe scară largă a acţionărilor hidraulice cu ulei la presiune înaltă (pînă la 200 kgf/cm²).

Introducerea unui grad de automatizare şi telemecanică cît mai ridicat, la nivel de grup şi în unele cazuri la nivel de centrală şi chiar de cascadă, centralizarea pe întreprindere a serviciilor care asigură întreţinerea şi reparaţia, supravegherea centralelor importante cu ajutorul maşinilor de calcul au permis să se mărească siguranţa şi elasticitatea în funcţionare, să se reducă timpii de manevră şi de asemenea să se micşoreze personalul necesar exploatării şi întreţinerii centralelor.

Concluzii

Din prezentarea activităţii de 20 de ani de proiectare a amenajărilor hidroelectrice, se desprinde o continuă preocupare pentru perfecţionare atît a schemelor de amenajare cît şi a construcţiilor hidrotehnice, echipamentului hidromecanic şi instalaţiilor electrice componente. Amenajările hidroelectrice proiectate, precum şi cele realizate sînt la nivelul tehnicii mondiale în acest domeniu. Asemenea rezultate s-au putut obţine atît prin aplicarea cu discernămînt, în condiţiile specifice ţării noastre, a progreselor înregistrate pe plan mondial, cît şi prin elaborarea de metode proprii de calcul. În proiectarea diferitelor construcţii hidrotehnice se remarcă o legătură strînsă cu cercetările de laborator şi studiile de teren. În paralel se subliniază preocuparea permanentă pentru îmbunătăţirea tehnologiilor de execuţie a construcţiilor hidrotehnice. La toate acestea a contribuit şi dezvoltarea activităţii de urmărire a comportării în timp a construcţiilor hidrotehnice, care a furnizat datele necesare pentru verificarea ipotezelor de calcul adoptate şi a permis dimensionarea mai îndrăzneaţă a construcţiilor, fără a diminua siguranţa lor.

Ca o consecinţă a perfecţionărilor continue înregistrate în proiectarea şi execuţia amenajărilor hidroelectrice, s-a ridicat permanent eficienţa lor economică. În valorificarea acestei bogăţii naturale a patrimoniului naţional s-a avut permanent în vedere utilizarea ei complexă, pentru a asigura dezvoltarea multilaterală a regiunilor în care se realizează amenajările hidroelectrice.

Notă din partea redacţiei. **Din lipsă de spaţiu, articolul tratînd despre „Stadiul actual al proiectării părţii electrice a centralelor şi staţiilor şi a liniilor de înaltă tensiune în R. S. România", de ing. P. Militaru ş. a., va apărea într-unul din numerele următoare ale revistei.**

Informaţii tehnice

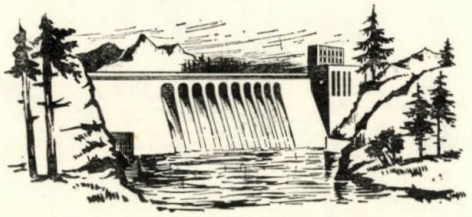
Institutul de studii şi proiectări energetice a întocmit în trimestrul IV/1968 proiectul liniei de 400 kV CHE Porţile de Fier — staţia de 400/220 kV Slatina, destinată transportului de energie electrică produsă de CHE Porţile de Fier spre zona de sud-est a ţării. Linia are o lungime de 160 km şi va fi realizată pe stîlpi din metal tip portal ancorat simplu circuit şi echipată cu cîte două conductoare pe fază de 450 mm² din oţel-aluminiu. Construcţia ei va începe în 1969 şi va fi dată în exploatare în cursul anului 1970.

În trimestrul II/1968 au început lucrările de construcţie pe şantierul centralei termoelectrice Rovinari — unul dintre principalele obiective energetice ce urmează a se realiza în următorii ani.
CTE Rovinari va fi dotată cu două blocuri de 200 MW, importate din R.S.C., în prima etapă şi cu patru blocuri de 330 MW ce se vor executa în ţară, în etapa a doua ; punerea în funcţiune a acestor blocuri se va face eşalonat în intervalul 1971—1976.
Amplasamentul centralei este situat la circa 15 km sud-vest de Tg. Jiu, în apropiere de Rovinari.
Combustibilul de bază al centralei este lignitul, cu puterea calorică inferioară medie de 1600 kcal/kg ; lignitul se extrage din carierele din zona carboniferă Rovinari-Tismana şi se transportă direct la centrală pe benzi transportoare, amplasamentul acesteia fiind în centrul zonei carbonifere.
Proiectele de execuţie pentru CTE Rovinari sînt în curs de elaborare în ISPE.

La Hamrawein, în Republica Arabă Unită, pe ţărmul Mării Roşii, se lucrează la deschiderea unor mine de fosfaţi. Partea română livrează utilajele şi instalaţiile miniere ; centrala termoelectrică de 3 × 4 MW, cu trei cazane de abur de cîte 25 t/h 25,5 at, 450°C, cu funcţionare pe păcură ; o staţie electrică de 35/6 kV şi o linie electrică aeriană de 35 kV în lungime de 20 km. Proiectul de execuţie pentru instalaţiile energetice care se elaborează de ISPE se află într-o fază înaintată, urmînd a fi predat parţial în trimestrul IV/1968, parţial în trimestrul I/1969.

În Republica Arabă Unită, la Alexandria, România construieşte o fabrică de sodă caustică şi calcinată. Centrala termică cu trei cazane de 50 t/h, 30 ata şi 450°C şi staţia electrică de 32/ 6 kV, aferente, sînt proiectate de ISPE.

În baza unui contract încheiat la Karachi se vor livra de către România în Pakistan şapte staţii electrice de 33/11 kV, a căror proiectare se execută în prezent în întregime de către ISPE.



CRONICA

Pregătirea rapoartelor pentru sesiunea CIGRE 1970

În cursul anului 1970 va avea loc la Paris sesiunea a 23-a a Conferinței Internaționale a Marilor Rețele Electrice.

Țara noastră urmează să participe, ca și la sesiunile precedente, cu rapoarte prezentate, în cadrul contingentului de două rapoarte fixat pentru Comitetul nostru național.

Rapoartele pentru sesiunea 1970 trebuie să se încadreze în următoarele grupe, ce vor fi discutate la sesiune :

Grupa 11. Mașini rotative.
Grupa 12. Transformatoare.
Grupa 13. Aparataj de deconectare.
Grupa 14. Instalații pentru conversiune alternativ-continuu.
Grupa 15. Materiale izolante.
Grupa 21. Cabluri de înaltă tensiune.
Grupa 22. Linii aeriene.
Grupa 23. Stații
Grupa 31. Rețele de transport.
Grupa 32. Planificarea și exploatarea rețelelor.
Grupa 33. Supratensiuni și coordonarea izolației
Grupa 34. Protecție, automatizări.
Grupa 35. Teletransmisii.
Grupa 36. Perturbații.

Subiectele preferențiale din cadrul grupelor arătate mai sus au fost stabilite în cadrul Comitetelor internaționale de studiu ale CIGRE.

Rapoartele vor putea să trateze numai în mod excepțional și alte chestiuni decît cele ce se încadrează în subiectele preferențiale, cu condiția ca ele să prezinte un interes deosebit și să fie de mare actualitate.

Subiectele preferențiale pentru sesiunea 1970 sînt următoarele :

Grupa 11. Mașini rotative

1. Probleme de încălzire a părților active și constructive ale mașinilor sincrone cu răcire directă.
2. Probleme mecanice ale statoarelor și rotoarelor turbo- și hidrogeneratoarelor mari.
3. Metode de încercare și criterii de performanță ale noilor sisteme de excitare.

Grupa 12. Transformatoare

1. Condițiile de funcționare, dimensionare și încercări ale reactanțelor-șunt.
2. Exploatarea transformatoarelor, inclusiv mijloacele de încetinire a îmbătrînirii.
3. Coordonarea izolației interne a transformatoarelor, ținînd seamă de valorile tensiunilor de serviciu și de încercare.

Grupa 13. Aparataj de deconectare

1. Probleme privind tensiunile tranzitorii în cazul unei operații de conectare sau deconectare.
2. Fenomene privind trecerea prin zero a curentului și relațiile cu încercările sintetice.
3. Problemele relative la deconectarea curenților în sistemele de curent continuu de înaltă tensiune.

Grupa 14. Instalații pentru conversiune alternativ-continuu

1. Concepția, construcția și încercarea dispozitivelor de comandă a convertizoarelor pentru instalațiile de curent continuu de înaltă tensiune.
2. Reglajul și exploatarea instalațiilor de conversiune la înaltă tensiune pentru rețelele cu alimentare dublă și multiplă.
3. Influența caracteristicilor rețelei asupra concepției stațiilor terminale de curent continuu.
4. Experiența de exploatare a stațiilor existente.

Grupa 15. Materiale izolante

1. Progresele în construcția condensatoarelor. Avantajele sistemelor mixte hîrtie-plastic față de sistemele clasice. Utilizarea lichidelor de impregnare conținînd aditive, rolul jucat de acestea în creșterea rezistenței la îmbătrînire.
2. Încercările și rezultatele de exploatare ale izolațiilor realizate din materialele epoxidice sau din alte materiale plastice utilizate în exterior. Problemele datorate eroziunii și transportului.
3. Problemele legate de detectarea degradărilor de natură termică sau electrică ale diferitelor tipuri de materiale izolante pentru rețelele de înaltă tensiune : materiale izolante plastice de extindere, materiale izolante pe bază de hîrtie, de materiale plastice, materiale izolante mixte impregnate cu ulei, materiale dielectrice colorate sau materiale izolante gazoase. Posibilitățile oferite de cromatografie în fază gazoasă.

Grupa 21. Cabluri de înaltă tensiune

1. Cabluri pentru curent continuu.
2. Cabluri cu izolație sintetică.
3. Transportul puterilor mari prin cabluri subterane.

Grupa 22. Linii aeriene

1. Conductori și accesorii.
2. Importanța structurii stîlpilor.
3. Proiectarea și ridicarea stîlpilor.

Se va pune accentul pe cercetările noi și pe tendința de creștere a tensiunii rețelelor.

Grupa 23. Stații

1. Principii generale de construcție a stațiilor privind dispoziția echipamentului de înaltă tensiune, a conexiunilor, a instalațiilor de reglaj și control, a serviciilor auxiliare și a instalației de legare la pămînt ținînd seamă de creșterea sarcinilor în rețele, de creșterea curenților de scurtcircuit (inclusiv problemele instalației de punere la pămînt), de reducerea suprafeței de teren, micșorarea cheltuielilor de investiții și exploatare și orice alt punct de vedere susceptibil de a influența aceste principii.
2. Aplicarea principiilor sus-menționate la stații simplificate situate în zone cu densități mici de sarcină, alimentînd orașe sau consumatori industriali, precum și la instalații în derivație pe linii de transport importante.
3. Aplicarea principiilor sus-menționate la stații de tensiune nominală egală sau mai mare de 500 kV, luînd în considerare în special dispoziția particulară a acestor stații. Se acordă un interes special rezultatelor experiențelor efectuate pînă în prezent.

Grupa 31. Rețele de transport

1. Informații privind studiile teoretice și cercetările de laborator pentru rețelele de curent alternativ de foarte înaltă tensiune (peste 500 kV).
2. Informații privind studiile teoretice și cercetările de laborator pentru rețelele de curent continuu de foarte înaltă tensiune.
3. Rezultate din exploatarea rețelelor de foarte înaltă tensiune, de curent alternativ și continuu și contribuția lor la obținerea unei exploatări mai economice și mai sigure.

Grupa 32. Planificarea și exploatarea rețelelor

1. Metode pentru îmbunătățirea stabilității rețelelor electrice.
2. Reglajul în funcționarea rețelelor electrice în vederea economiei și securității maximale.
3. Optimizarea planificării pe termen lung a rețelelor electrice.

Grupa 33. Supratensiuni și coordonarea izolației

1. Originea, forma, amplitudinea supratensiunilor de comutație în rețelele de foarte înaltă tensiune și curbele de densitate de probabilitate. Exigențele care rezultă față de dispozitivele de protecție. Metode pentru determinarea caracteristicilor izolației ținînd seamă de considerațiile probabilistice și economice.
2. Comportarea izolatoarelor de foarte înaltă tensiune, a distanțelor de izolație în aer și a descărcătoarelor, în funcție de diferite solicitări dielectrice și pentru diverse condiții ale mediului înconjurător. Corespondența între comportarea în rețea și rezultatele încercărilor, cu referire specială în ceea ce privește poluarea.
3. Comportarea liniilor și stațiilor din rețeaua de 220 kV și mai mult, la efectele trăsnetului. Protecția acestora contra supratensiunilor atmosferice, din punct de vedere tehnico-economic.

Grupa 34. Protecție, automatizări

1. Dispozitive utilizate pentru comanda rețelelor de energie cu referire la rentabilitate și securitate.
2. Principii și realizări ale sistemelor automate de protecție a rețelelor contra defectelor persistente și condițiilor anormale de suprasarcină.
3. Principii și realizări în automatizarea locală din centrale și din stațiile de transformare pentru exploatarea normală și pentru condițiile anormale datorită incidentelor.

Grupa 35. Teletransmisii

1. Calcule și măsurători referitoare la propagarea frecvențelor purtătoare pe liniile de energie.
2. Calități cerute și procedee de codificare în transmiterea semnalelor și datelor pentru rețelele de energie, luînd în considerare zgomotul de natură electrică.
3. Transmiterea pe cale radioelectrică a datelor și semnalelor de teleprotecție, proprii rețelelor de energie.

Grupa 36. Perturbații

1. Creșterea potențialului solului în apropierea instalațiilor electrice. Repercusiuni asupra circuitelor de telecomunicații care intră în instalații sau trec în apropierea acestora.
2. Inducția electromagnetică asupra canalizărilor îngropate de tipul „pipe-lines"; rezultatele măsurătorilor.
3. Repartiția statistică a nivelelor de perturbații radiofonice produse de liniile de energie de foarte înaltă tensiune în curent alternativ.

Regulamentul de întocmire a rapoartelor urmează să fie trimis direct autorilor.

Comitetul Național Român va selecționa pînă la urmă două rapoarte, aceasta constituind cota repartizată țării noastre pentru sesiune.

Rezumatele rapoartelor pentru această sesiune vor fi înaintate pe adresa: Inginer Liviu Groza, Secretarul Comitetului Național Român al CIGRE, b-dul Republicii 29. București.

Ing. LIVIU GROZA

Revista „ENERGETICA", organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R. S. România (CNIT). Redacția: București, Splaiul Independenței nr. 49, Sectorul VI, Tel. 136683; 130053. Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament: nr. 40.01.01.00 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni și ingineri lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5. — Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „13 Decembrie 1918", București — c. III/279

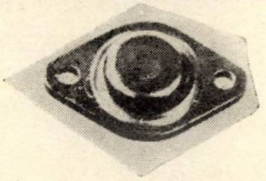
Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10/1095, 1967

41.401

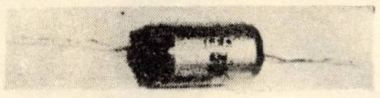
DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

- Tranzistoare cu germaniu, de joasă frecvență
  - — de mică putere
  - — de medie putere
- Tranzistoare cu germaniu de înaltă frecvență
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu contact punctiform

- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere

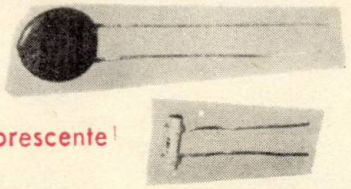


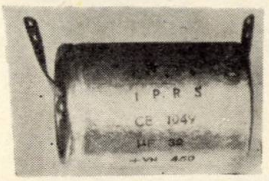
PIESE RADIO

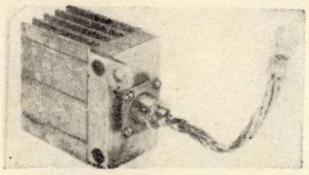


- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice

- Condensatoare hîrtie-uz general
- Condensatoare hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate







PRODUCE :

diode redresoare de putere cu siliciu de 8; 20; 25; 50; 100 şi 200 A la 50; 100; 150; 200 V tensiune inversă.

INTREPRINDEREA PIESE RADIO ŞI DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, sector 2, telefon 33. 38. 30, Telex 011203

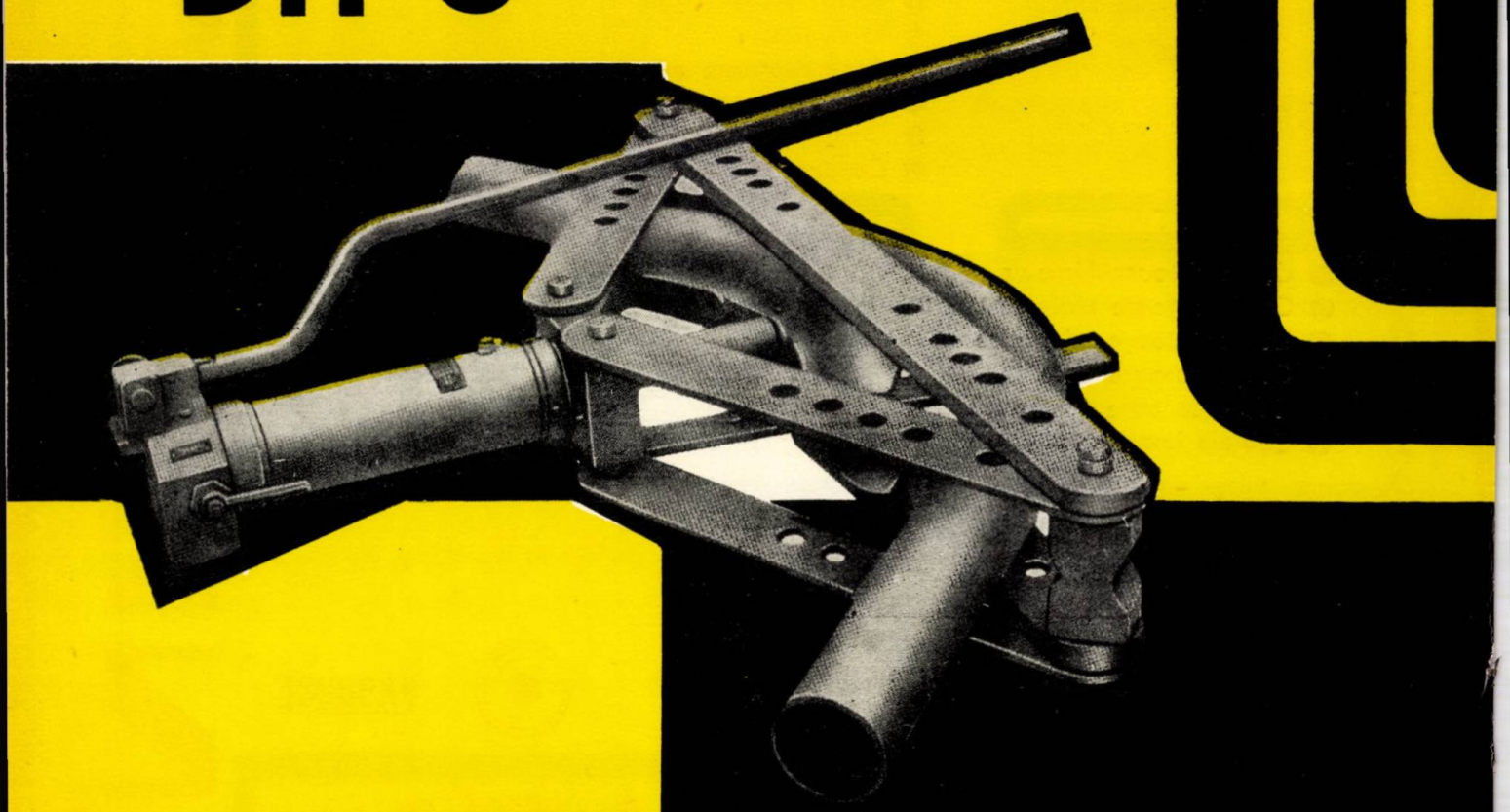
Pentru informații suplimentare consultați cataloagele noastre

BĂNEASA

DISPOZITIV DE ÎNDOIT TEVI

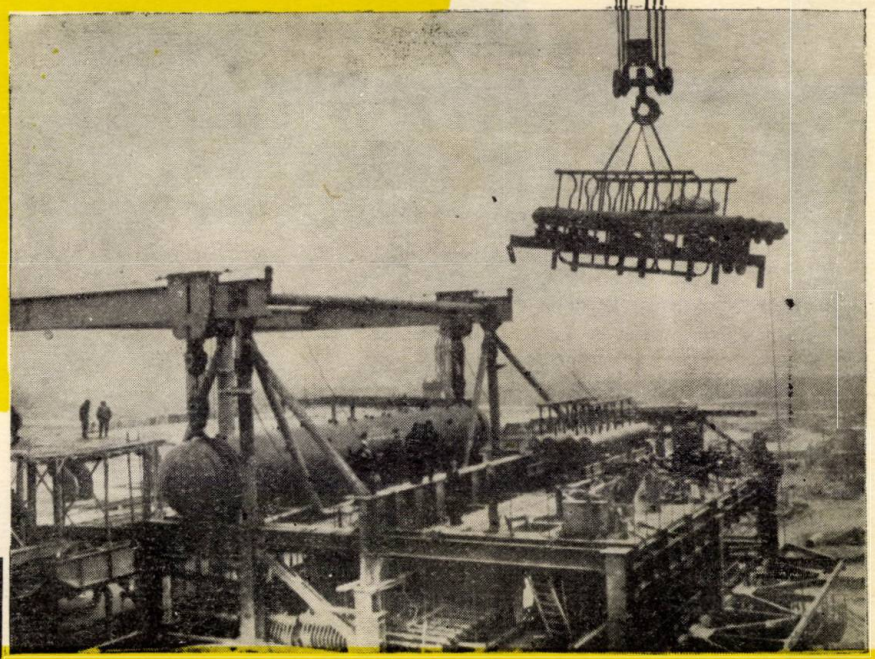
PÎNĂ LA 133 mm

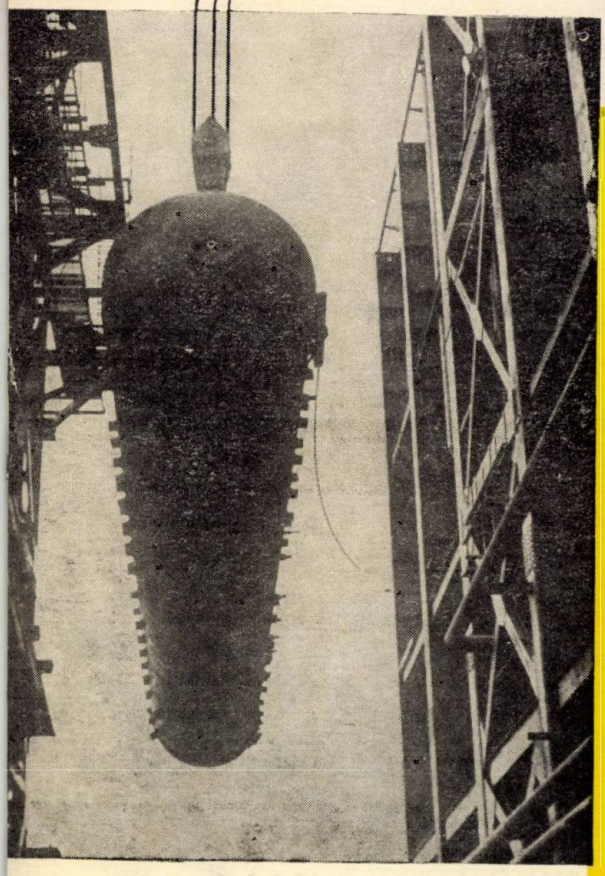
DIT 5



ENERGOREPARAȚII

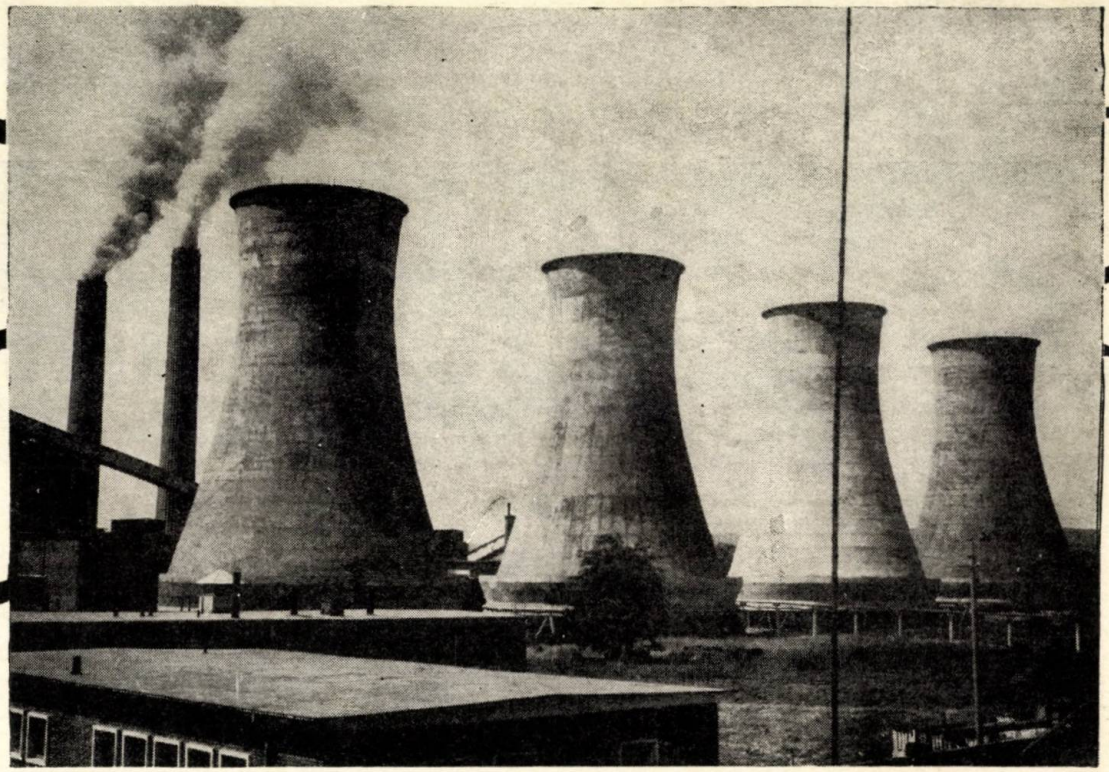
INTREPRINDEREA Energomontaj





Execută lucrări de montaj:

- **Cazane de abur cu parametri ridicați:**
  - **— 500 t abur/h, 215 at, 514°C**
  - **— 640 t abur/h, 140 at, 570°C**
- **Turbine cu abur de la 6 MW la 315 MW**
- **Turbine cu gaze**
- **Turbine hidraulice de la 5,5 MW la 170 MW**
- **Compensatoare sincrone**
- **Instalații termomecanice auxiliare ale centralelor termoelectrice și echipament hidromecanic**
- **Instalații electrice de joasă, înaltă și foarte înaltă tensiune**
- **Instalații de măsură, control și automatizare**



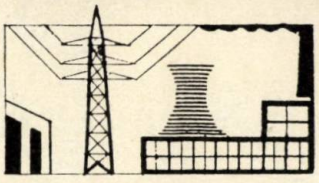
ISPE, known in many countries for its technical services rendered, is elaborating studies and designs for

- Thermal-power plants and combined heat-and-power plants
- Distance heating networks for cities and industries
- High and extra high-voltage lines
- Transformer substation
- Interconnected networks
- Urban and rural electrification
- Power-system planning

ISPE, cunoscut în mai multe țări pentru serviciile tehnice prestate, elaborează studii și proiecte pentru

- Centrale termoelectrice și de termoficare
- Rețele de termoficare urbană și industrială
- Linii de înaltă și foarte înaltă tensiune
- Stații electrice de transformare
- Sisteme interconectate
- Electrificări urbane și rurale
- Electrificări de perspectivă

ISPE



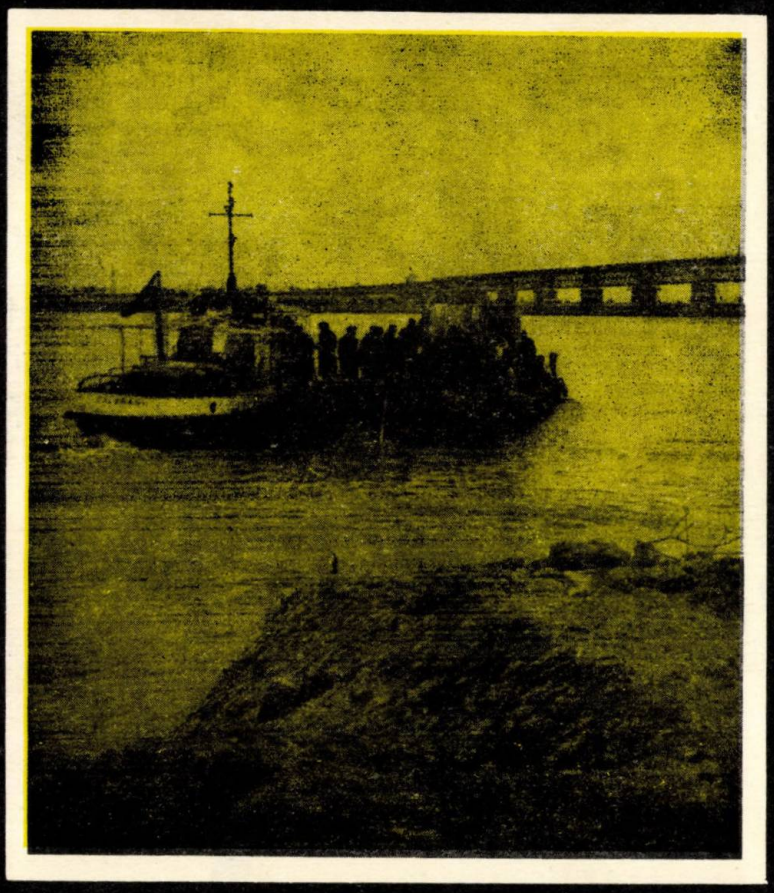
ISPE

INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE
BUL. REPUBLICII 29 - **BUCUREȘTI**

THE INSTITUTE FOR STUDIES AND DESIGNS IN ENERGETICS
BOUL. REPUBLICII 29 - **BUCHAREST**

electromontaj

INTREPRINDEREA BUCUREȘTI



Cablu subfluvial 20 kV BORCEA

Execută:

- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție
- Stații de transformare 35 — 400 kV
- Stații de distribuție și posturi de transformare
- Rețele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
- Rețele de iluminat public
- Electrificări rurale

EM

Trustul ELECTROMONTAJ

Execută prin unităţile sale de construcţii:

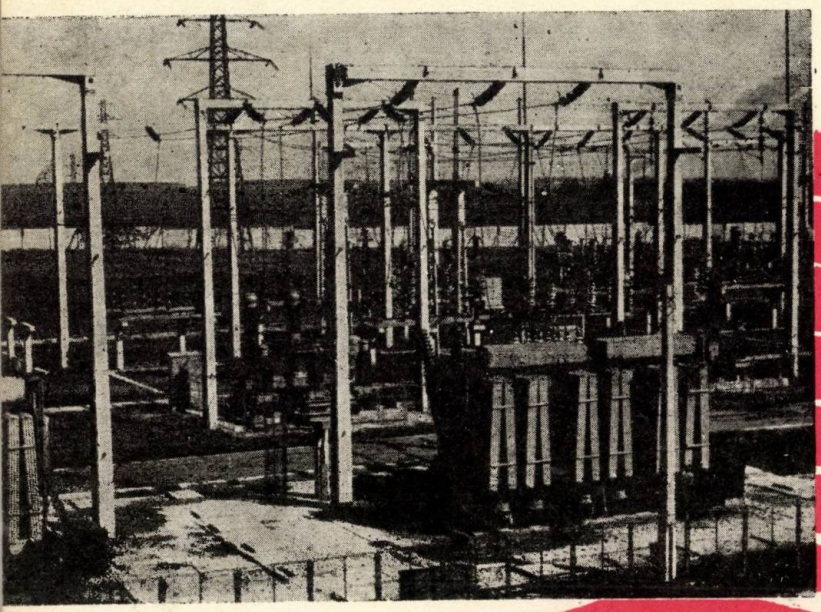
- Staţii electrice şi posturi de transformare
- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuţie
- Electrificări rurale

Produce prin unităţile sale industriale:

- Stîlpi metalici
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat, pretensionaţi
- Celule şi panouri pentru centrale şi staţii electrice
- Posturi de transformare urbane şi rurale complet prefabricate
- Diverse prefabricate pentru centrale electrice, staţii, posturi de transformare şi linii electrice de transport şi distribuţie

BUCUREŞTI
CALEA MOŞILOR Nr. 158.
TELEFON 16.63.30

ITEM



IDEB

ÎNTREPRINDEREA DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE - BUCUREȘTI

PROIECTEAZĂ
EXECUTĂ
EXPLOATEAZĂ

instalațiile electrice de iluminat a:

străzilor și bulevardelor, piețelor, fațadelor clădirilor monumentale, monumentelor, parcurilor, stadioanelor etc.

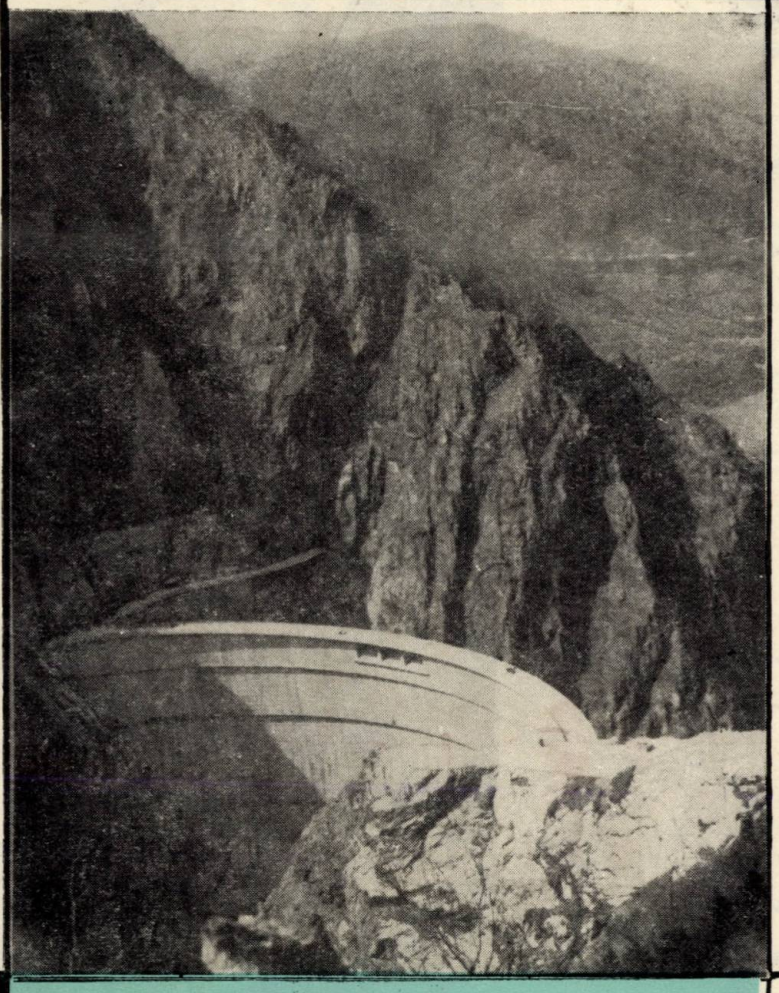
MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

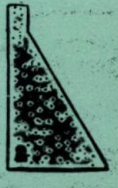
ISPH

ISPH

Proiecte

— Amenajări de complexe hidroenergetice.
— Uzine hidroelectrice (baraje, aducţiuni, centrale, etc.)



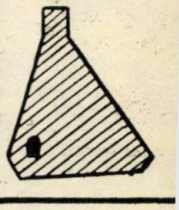


Studii

— De teren geologice, geotehnice, geodezice, hidrologice şi topografice.

Cercetări

— de laborator cu caracter geotehnic pentru lianţi, betoane, chimismul apelor pe modele hidraulice şi modele structurale.



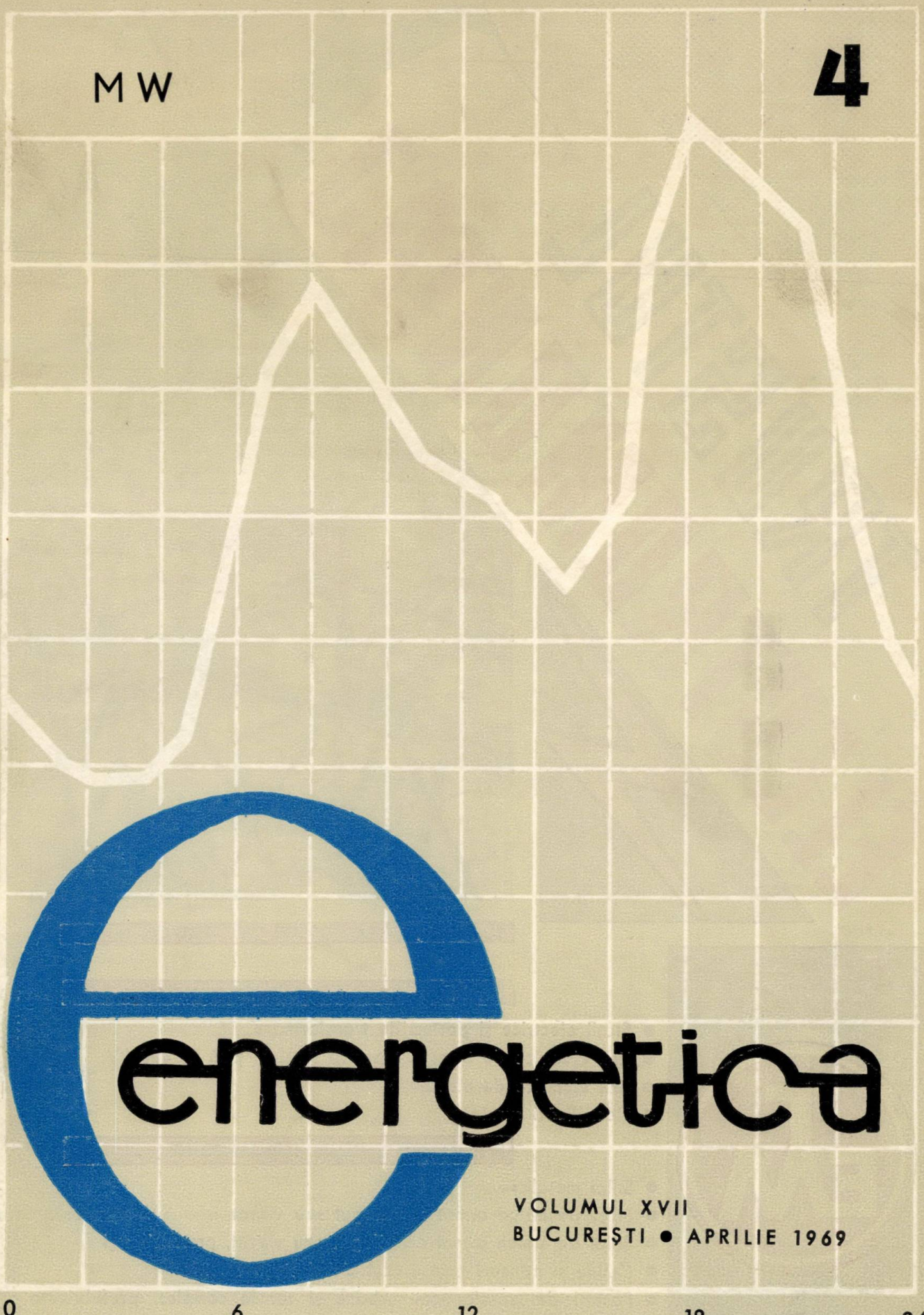
ÎNTREPRINDEREA DE CONSTRUCȚII HIDROENERGETICE

Execută lucrări de:

- Baraje de toate genurile
- Centrale hidroelectrice subterane și de suprafață
- Tuneluri și galerii hidrotehnice
- Canale și diguri
- Amenajări pentru alimentarea cu apă a marilor industrii

I. C. H. — București, str. Dimitrie Onciu nr. 23—25, telefon 36. 54. 70, telex INCOHIDROEN București 244

E 2039



energetica

VOLUMUL XVII
BUCUREŞTI • APRILIE 1969

TRUSTUL ELECTROMONTAJ

BUCUREȘTI, CALEA MOȘILOR 158 TELEFON 16.63.30

Execută prin unitățile sale de construcții:

- Stații electrice și posturi de transformare
- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție
- Electrificări rurale

Produce prin unitățile sale industriale:

- Stîlpi metalici
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat, pretensionați
- Celule și panouri pentru centrale și stații electrice
- Posturi de transformare urbane și rurale complet prefabricate
- Diverse prefabricate pentru centrale electrice, stații, posturi de transformare și linii electrice de transport și distribuție

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 17 nr. 4 APRILIE

Caprinsul

Armencoiu, N.	**Sistemul energetic naţional la sfîrşitul anului 1963**	177—179
Dinculescu, C.	**Din istoria învăţămîntului tehnic superior în Bucureşti**	180—183
Vicol, M.	**Probleme de optimizare în exploatarea amenajărilor hidroenergetice**	184—192
Hosemann, G.	**Dezvoltarea, exploatarea şi protecţia sistemelor electroenergetice**	192—195
Boţa, I.	**Alegerea sistemului de acţionare a agregatelor din instalaţiile chimice**	195—198
Ionescu, S., Staadecker, M. şi *Iosub, I.*	**Algoritm pentru calculul regimurilor dinamice din sistemele electroenergetice**	198—203
Bogoevici, N.	**Unele aspecte generale ale modelării sistemelor electrice de putere**	204—208
Măcriş, A.	**Metode moderne pentru amplasarea obiectelor de organizare de şantier**	208—212

NOTE

CRONICĂ

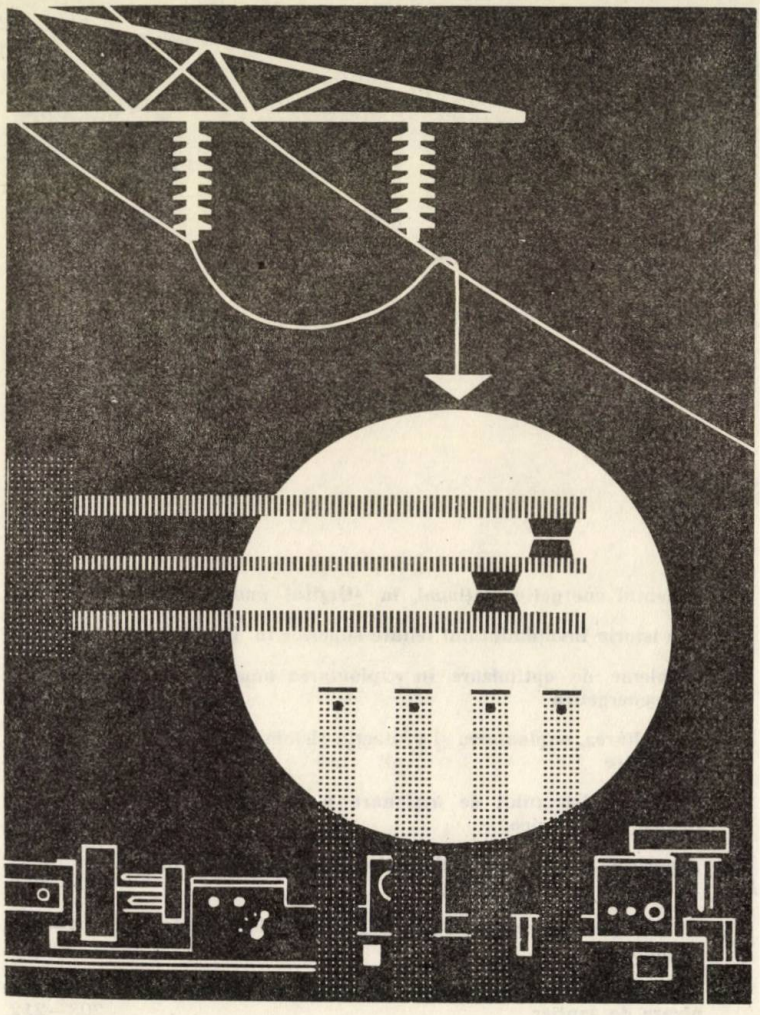
RECENZII

INFORMAŢII TEHNICE

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, conf. ing. E. CONSTANTINESCU, ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, conf. ing. V. NITU, ing. A. SPÎNU

OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE
AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE



Releu de protecție de distanță RD

Prin creșterea continuă a cererii de energie se sporesc din ce în ce mai mult tensiunile de transport și buclarea rețelelor.
Un nivel de tensiune mai înalt pretinde dispozitive de protecție mai precise pentru asigurarea unei alimentări cu energie lipsită de deranjamente.
Pentru protecția completă împotriva defectelor de orice natură în instalațiile de distribuție de energie vă recomandăm releele noastre de protecție de distanță RD 10, RD 110 și RD 310 pentru folosire în rețele de tensiune medie, înaltă și foarte înaltă. Aceste relee sînt realizate cu elemente de construcție moderne, cu măsurarea impedanței prin redresarea mărimilor măsurate, ceea ce asigură o precizie mare de măsurare și în cazul unor defecte apropiate de stația de transformare.

Vă informăm cu plăcere mai amănunțit; rugăm cereți prospecte:

ELEKTRO-APPARATE-WERKE DER DDR

Exportator:

Elektrotechnik

EXPORT-IMPORT

Volkseigener Aussenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik — DDR 104 Berlin Chausseestrasse 111/112 Republica Democrată Germană

Informații privind exportul obțineți prin: Ambasada R. D. Germane în R. S. România, Biroul tehnico-comercial, Calea Dorobanților 14, București-România.

EAW

Vă rugăm vizitați expoziția noastră de la 4—13 mai 1969, zilnic între orele 9—20, la complexul sportiv „Floreasca", (Sala de atletică ușoară), str. Aviator Popa Marin 2, București.

Revista „ENERGETICA", organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R. S. România (CNIT). Redacția: București, Splaiul Independenței nr. 49, Sectorul VI, Tel. 136683; 130053. Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament: nr. 40010100 B.N.R.S.R.— Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni și ingineri lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5. — Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București — c. 3125

Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10/1095, 1967

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311.1(498)

Арменкою, Н.: **Государственная энергетическая система С.Р.Румынии в конце 1968 года**

Energetica 17 (1969), No. 4. стр. 177–179

ДК 378 : 621.3(09)

Динкулеску, К.: **Из истории высшего технического образования в Бухаресте**

Energetica 17 (1969), No. 4, стр. 180–183

ДК 621.311.21. 004.15

Викол, М.: **Проблемы эксплуатации гидроэнергетических сооружений**

Устанавливаются осовные критерии для выбора оптимальных режимов работы. Предлагается единый метод оптимизации и эксплуатации гидроэнергетических станций, состоящий из трёх специфических этапов работы, которые ведут, посредством последовательных приближении к установлению оптимальных параметров работы.

Energetica 17 (1969), No. 4, стр. 184–192

ДК 621.311.1

Хосеманн, Герард: **Развитие, эксплуатация и защита энергетических систем**

Energetica 17(1969), No. 4, стр. 192–195

ДК 631-8.66

Боца, И.: **Выбор системы привода агрегатов в химических установках**

Анализируются основные типы приводов агрегатов, используемые в технологических процессах химической промышленности.

Energetica 17 (1969), No. 4, стр. 195–198

ДК 621.316.13.001.24

Ионеску, С., Стаадекер, М. и *Иосуб, Е.:* **Алгорифм расчёта динамических режимов в электроэнергетических системах**

Представляется алгорифм расчёта динамических режимов комплексных сложных энергетических систем, принимая во внимание переходные процессы синхронных машин, а также влияние автоматических регуляторов скорости и напряжения.

Energetica 17 (1969), No. 4, стр. 198–203

ДК 621.316.13.001.24

Богоевич, Н.: **Некоторые общие аспекты моделирования электрических систем мощности**

Показывается важность моделирования для научно-исследовательской работы проектирования и даётся класификация методов и способов по моделяции с конкретными электрическими системами по мощности.

Energetica 17 (1969), No 4, стр. 204–208

ДК 621.311.22:658.5 : 624

Мэкриш, А.: **Современные методы для расспределения обьектов организации строек**

Даются два метода организации монтажных работ на стройках Т.Э.Ц.: поточный метод и метод по категории объектов. Оптимальное расспределение объектов производится на основе расчёта минимального объёма транспорта. Представляется метод расчёта (операционного исследования), с конкретным примером расчёта.

Energetica 17 (1969), No. 4, стр. 208–212

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.311.1(498)

Armencoiu, N.: **Das rumänische Landesverbundnetz am Ende des Jahres 1968**

Energetica 17 (1969), H. 4, S. 177–179

DK 378 : 621.3(09)

Dinculescu, C.: **Aus der Geschichte des höheren technischen Unterrichts in Bukarest**

Energetica 17 (1969), H. 4, S. 180–183

DK 621.311.21.004.15

Vicol, M.: **Fragen der Optimalauslegung des Fahrbetriebs von Wasserkraftwerken**

Es werden die kennzeichnenden Merkmale bestimmt, welche die Auswahl optimaler Fahrbetriebs zustände ermöglichen. Ein einheitliches auf drei charakteristichen Berechnungsstufen berunhendes Verfahren zur Bestauslegung des Betriebs von Wasserkraftwerken wird vorgeschlagen, welches durch aufeinanderfolgende Annäherungen zur Ermittlung der optimalen Betriebsparameter führt.

Energetica 17 (1969), H. 4, S. 184–192

DK 621.311.1

Hosemann, Gerhard: **Planung, Betrieb und Schutz der Netze**

Energetica 17 (1969), H. 4, S. 192–195

DK 621–8.66

Boţa, I.: **Auswahl der Antriebsverfahren für Energieanlagen in chemischen Werken**

Für die in den Produktionsprozessen der chemischen Industrie Energieanlagen werden die wichtigeren Antriebsverfahren erörtert.

Energetica 17 (1969), H. 4, S. 195–198

DK 621.316.13.001.24

Ionescu, S., Staadecker, M. und *Iosub, E.:* **Algorythmus für Berechnung dynamischer Betriebszustände in Verbundnetzen**

Es wird ein Algorythmus für Berechnung dynamischer Betriebszustände in komplexen Verbundnetzen besprochen, wobei Ausgleichsvorgänge in Synchronen Maschinen, sowie Einflüsse automatischer Spannungs und Drehzahlregler in Betracht genommen werden.

Energetica 17 (1969), H. 4, S. 198–203

DK 621.316.13.001.24

Bogoevici, N.: **Einige allgemeine Merkmale der Modellierung elektrischer Verbundnetze**

Es wird die Bedeutung der Modellierung für Entwurf, Auslegung und Berechnung elektrischer Verbundnetze nachgewiesen und eine Einteilung des Modellierungsverfahrens, mit besonderer Berücksichtigung der elektrischen Verbundnetze angegeben.

Energetica 17 (1969), H. 4, S. 204–208

DK 621.311.22 : 658.5 : 624

Măcriş, A.: **Moderne Verfahren für Entwurf der Disposition von Anlagen für Organisierung von Baustellen**

Zwei moderne Verfahren für Organisierung von Montagearbeiten auf Baustellen von Wärmekraftwerken werden erörtert das Flussverfahren und das Verfahren der Kategorien der Arbeitsvorgänge. Die optimale örliche Anlage der Werkplätze erfolgt mittelsrechungsweiser Ermittlung der geringsten Transportmengen. Das Berechnungsverfahren der operationalen Untersuchung wird mit einem Berechnungsbeispiel dargestellt.

Energetica 17 (1969), H. 4, S. 208–212

SOMMAIRE

C.D. 621.311.1(498)

Armencoiu, N.: **Le système énergétique roumain à la fin de l'année 1968**

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 177—179

C.D. 378 : 621.3(09)

Dinculescu, C. : **Quelques pages sur l'histoire de l'enseignement technique supérieur à Bucarest**

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 180—183

C.D. 621.311.21.004.15

Vicol, M. : **Problèmes d'optimisation dans l'exploitation des aménagements hydro-électriques**

On établi les criteriums fondamentaux conduisant au choix des régimes optimum de fonctionnement. On propose une méthode unitaire d'optimisation de l'exploitation des usines hydro-électriques, basée sur trois phases caractéristiques de calcul, menant, par approximation successive, à determiner les paramètres optimum de fonctionnement.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 184—192

C.D. 621.311.1

Hosemann, Gerhard: **Conception, opération et protection des réseaux**

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 192—195

C.D. 621—8.66

Boţa, I. : **Le choix des systèmes de commande des groupes dans les installations chimiques**

L'article examine les systèmes de commande des groupes principaux employés par les processus technologiques des industries chimiques.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 195—198

C.D. 621.316.13.001.24

Ionescu, S., Staadecker, M. et *Iosub, E.* : **Algorithme pour le calcul des régimes dynamiques des réseaux électriques**

Il s'agit d'un algorithme pour le calcul des régimes dynamiques des réseaux électriques complexes, considérant les phénomènes transitoires dans les machines synchrones ainsi que l'influence des régulateurs automatiques de tension et de vitesse.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 198—203

C.D. 621.316.13.001.24

Bogoevici, N. : **Quelques aspects généraux de l'établissement de modèles de réseaux électriques**

L'auteur souligne l'importance de l'établissement de modèles pour les travaux de recherches et d'étude des projets et présente une classification des procédés et des méthodes susceptibles d'être employées, se rapportant spécialement aux réseaux électriques.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 204—208

C.D. 621.311.22 : 658.5 : 624

Măcriş, A. : **Méthodes modernes pour l'organisation des travaux de montage sur chantier**

L'article traite deux méthodes modernes d'organisation des travaux de montage sur les chantiers des centrales thermiques : la méthode des flux et la méthode par catégories d'objets. L'emplacement optimum des objets est fait d'après un calcul du volume minimum de transport. Un exemple concret précédé d'une méthode de calcul (de recherche opérationnelle) est aussi présenté.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 208—212

CONTENTS

DC 621.311.1(498)

Armencoiu, N. : **Romanian interconnected power system at the end of 1968**

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 177—179

DC 378 : 621.3 (09)

Dinculescu, C. : **From the history of higher technical education in Bucharest.**

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 180—183

DC 621.311.21.004.15

Vicol, M. : **Optimization problems in the operation of hydroelectric projects**

Basic criteria leading to the selection of optimal operating conditions are stated in this article, followed by a proposed unified method of optimization for the operation of hydroelectric power stations, based upon three characteristic calculation phases which aim, by successive approximations, to determine optimum operational parameters.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 184—192

DC 621.311.1

Hosemann, Gerhard: **Planning, operation and protection of supply systems**

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 192—195

DC 621—8.66

Boţa, I. : **The selection of operating systems for sets employed at chemical installations**

Here is an examination of the operating systems for the main sets used in the technological processes of chemical industries.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 195—198

DC 621.316.13.001.24

Ionescu, S., Staadecker, M. and *Iosub, E.* : **Algorithm for the calculation of dynamic conditions in power systems**

An algorithm is presented for the calculation of dynamic conditions in complex power systems, considering transient phenomena in synchronous machines as well as the influence of automatic voltage and speed governors.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 198—203

DC 621.316.13.001.24

Bogoevici, N. : **Some general aspects of the modelling of power systems**

The author stresses the importance of modelling for the purposes of scientific research and designing and offers a classification of the methods and proceedings of modelling, with particular reference to power systems.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 204—208

DC 621.311.22 : 658.5 : 624

Măcriş, A. : **Modern methods used for the organization of building sites**

Two modern methods used for the organization of assembling works at the building yards of thermal power stations are treated here, i.e. : the flow-line method and the method of object categories. The optimal location of objects is made after a calculation of the minimal volume of transports. The method of calculation (of operational research) and an example of calculation are also mentioned.

Energetica 17 (1969), No. 4, p. 208—212

SISTEMUL ENERGETIC NAȚIONAL LA SFÎRȘITUL ANULUI 1968

Ing. Nicolae Armencoiu
adjunct al ministrului energiei electrice

În cadrul dezvoltării rapide și multilaterale a economiei țării noastre, industria energiei electrice ocupă un loc din ce în ce mai important. Progresul tehnic în toate sectoarele economiei naționale și ridicarea continuă a nivelului de trai sînt, în stadiul actual al civilizației, condiționate direct de creșterea consumului general de energie sub toate formele și în primul rînd sub forma de energie electrică.

Aportul, mereu în creștere, care revine energiei electrice în cadrul dezvoltării industriale a țării noastre, se reflectă într-un ritm mai rapid de creștere a producției de energie electrică față de creșterea producției industriale în ansamblu.

Politica marxist-leninistă a P. C. R., bazată pe o profundă cunoaștere a necesităților economiei naționale, a considerat dintotdeauna electrificarea țării ca una din pîrghiile principale ale construcției socialiste, înscriind la loc de frunte în programul de construire a socialismului dezvoltarea bazei energetice și electrificarea întregii țări.

Aceste probleme, subliniate încă din anul 1945 la Conferința Națională a Partidului Comunist Român, au fost concretizate în planul de electrificare de zece ani (1951—1960), care prevedea următoarele obiective generale în domeniul economiei energetice a țării: asigurarea cu energie electrică a economiei naționale în plină dezvoltare; valorificarea rațională a resurselor energetice prin intensificarea folosirii combustibililor inferiori, pentru a permite folosirea rațională a combustibilului superior în industria chimică, transporturi etc.; realizarea unor amenajări hidroenergetice care să servească în același timp la irigații, asanări, desecări etc.; electrificarea treptată a transporturilor, prin care să se obțină economii importante de combustibil superior. Politica energetică stabilită a fost continuată în anii planului șesenal (1960—1965) și întărită prin Directivele Congresului al IX-lea al Partidului Comunist Român cu privire la valorificarea surselor energetice și electrificarea țării în perioada 1966—1975, urmărindu-se valorificarea superioară a surselor energetice ale țării prin prelucrarea intensă a țițeiului, dezvoltarea petrochimiei și chimizarea gazelor naturale.

Ca urmare a aplicării acestei politici, în balanța energetică a țării au apărut importante schimbări cantitative și structurale. S-a trecut astfel la valorificarea superioară a lemnului prin industrializarea sa, a crescut producția de cărbune și în special de lignit, s-a dezvoltat apreciabil industria noastră chimică, s-a urmărit utilizarea cît mai eficientă a resurselor energetice secundare din unele instalații industriale siderurgice, chimice sau de prelucrare. De asemenea, prin dezvoltarea continuă a bazei energetice a fost posibilă realizarea principalelor obiective stabilite în domeniul electrificării țării, dintre care amintim: concentrarea producției de energie electrică în centrale mari cu randament ridicat, producerea energiei electrice folosind în special combustibili inferiori, crearea unui sistem energetic unitar în vederea asigurării unei funcționări corelate și eficiente a tuturor instalațiilor electroenergetice, electrificarea treptată a căilor ferate și a transporturilor în comun din centrele orășenești pentru economisirea combustibilului, electrificarea treptată a mașinilor agricole și dezvoltarea folosirii electricității la țară.

Urmărind cererea mereu crescîndă de energie electrică în industria socialistă, producția de energie electrică a atins următoarele nivele în anii care marchează diferitele etape ale planurilor care au stat și stau la baza electrificării țării noastre:

Anul	1950	1960	1965	1968
miliarde kWh	2,1	7,7	17,2	27,8

Această evoluție indică o creștere de peste 3,6 ori în perioada 1950—1960 și de 3,6 ori în perioada 1960—1968.

Preliminîndu-se o producție de peste 34,5 miliarde kWh în anul 1970, producția de energie electrică privită pe întreaga perioadă 1950—1970 reprezintă deci în medie o dublare în mai puțin de 5 ani.

Creșterea producției industriale și a producției de energie electrică raportate la valorile realizate în anul 1950 prezintă următoarea dinamică:

Anul	1950	1960	1965	1968	Ritm mediu anual de creștere în perioada	
					1950—1960	1960—1968
Total producția industrială	100	340	649	918	13,0	13.2
Producția de energie electrică	100	364	814	1320	13,8	17,5
Indice de devansare a producției de energie electrică față de producția industrială	1	1,07	1,25	1,44		

din care rezultă că a fost realizat pasul înainte în dezvoltarea producției de energie electrică față de totalul producției industriale din țara noastră.

Pentru realizarea producției sporite de energie electrică a fost necesară construirea de noi centrale, care au făcut ca puterea instalată să crească simțitor:

Puterea instalată, MW	1950	1960	1965	1968
în centrale termoelectrice	680	1569	2797	4780
în centrale hidroelectrice	60	210	461	831
Total	740	1779	3258	5611

În dezvoltarea centralelor electrice s-a pus accentul pe folosirea aburului cu parametri înalți în grupuri cu puteri unitare din ce în ce mai mari, ceea ce a permis reducerea apreciabilă a consumului specific de combustibil. Astfel, consumul specific de combustibil pentru producerea energiei electrice a scăzut de la 0,723 kg c.c./kWh, în anul 1955, la 0,407 kg c.c./kWh, în 1965, ajungînd la numai 0,364 kg c.c./kWh în 1968.

O contribuție importantă în cadrul utilizării judicioase a combustibililor au adus-o introducerea și extinderea producerii combinate de energie electrică și de căldură prin termoficare, proces care a fost substanțial extins. În prezent marile platforme industriale, cum sînt cele de la Borzești, Brazi, Craiova etc., sînt alimentate cu căldură din centralele electrice de termoficare respective. A fost de asemenea extinsă termoficarea urbană în orașele București, Iași, Oradea, Suceava, Pitești, Timișoara etc. și a început folosirea căldurii produse în centrale de termoficare pentru alimentarea serelor.

Realizarea programului de construcții de centrale electrice a determinat schimbări însemnate în structura puterii instalate în centrale, care, grupate după puterea lor totală, prezintă următoarea evoluție a ponderilor:

Puteri instalate ale centralelor	% față de total			
	1950	1960	1965	1968
peste 100 MW	—	36,1	54,1	67
20—100 MW	29,4	16,0	12,8	14,5
10—20 MW	19,6	13,6	11,5	7,8
1—10 MW	31	21,6	13,9	7,5
sub 1 MW	20	12,7	7,7	3,2
Total	100	100	100	100

După cum se poate constata, puterea instalată în centrale de peste 100 MW reprezintă acum mai mult decît două treimi din puterea totală instalată în țară, corespunzînd politicii de concentrare a puterii în centrale mari și de instalare de grupuri cu puteri unitare din ce în ce mai mari. Un exemplu caracteristic în acest sens îl constituie centrala electrică de termoficare Craiova, care, prin montarea în anul 1968 a celui de-al doilea grup de 315 MW, a ajuns la o putere instalată de aproape 1 000 MW, ceea ce corespunde prevederilor Directivelor Congresului al IX-lea al Partidului Comunist Român. Amintim de asemenea, printre grupurile cu putere mare, pe acelea de 200 MW din centralele Luduș și Borzești și de 150 MW din centrala Paroșeni.

În domeniul centralelor hidroelectrice, a căror dezvoltare a crescut apreciabil în ultimii ani, o importanță deosebită revine centralei Bicaz, care, împreună cu lanțul de hidrocentrale din aval pe rîul Bistrița, totalizează o putere de 453 MW, precum și centralei de 220 MW de pe rîul Argeș, care se continuă cu amenajările din aval, dintre care, pînă acum, primele cinci hidrocentrale au intrat în funcțiune. Trebuie de asemenea menționate lucrările importante de construcții-montaj care se desfășoară în ritm susținut pe șantierele Sistemului hidroenergetic și de navigație de la Porțile de Fier, care va avea o putere instalată de peste 1 000 MW (partea R. S. România), folosind grupuri cu o putere unitară de 175 MW, și pe șantierul hidrocentralei Lotru, care va avea o putere de 500 MW.

Din examinarea comparativă a evoluției producției de energie electrică și a puterii instalate rezultă că durata de utilizare a puterii instalate a crescut de peste 1,7 ori față de aceea realizată în anul 1950.

Anul	1950	1960	1965	1968	Ritm mediu anual de creștere în perioada	
					1950—1960	1960—1968
Producția de energie electrică, miliarde kWh	2,1	7,65	17,2	27,8	13,8	17,5
Puterea total instalată la sfîrșitul anului, MW	740	1 779	3 258	5 611	9,1	15,5
Ore de utilizare anuale a puterii instalate	2 855	4 300	5 284	4 950		

Mărirea gradului de siguranță în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, precum și funcționarea cît mai economică a instalațiilor de producere au necesitat o dezvoltare importantă a rețelelor electrice. Legăturile dintre marile centre producătoare și consumatoare de energie electrică, care au fost realizate în primii ani de electrificare prin linii de 110 kV, nu au mai putut face față importantelor puteri care trebuiau vehiculate. În această situație, s-a impus realizarea unei noi rețele, de 220-400 kV. Astfel, în ultimii ani, s-a construit o importantă arteră de 400 kV (ce funcționează în prezent la 220 kV), care trece prin centrele Luduș — Arefu — Slatina — București — Galați. Totodată, s-au construit arterele de 220 kV Timișoara — Hunedoara — Luduș, Bicaz — Galați și Paroșeni — Craiova — Slatina. Cu punerea în funcțiune a liniei de 220 kV Craiova — Bechet s-a stabilit legătura între sistemul energetic român și sistemul energetic al țării prietene Bulgaria.

Din examinarea evoluției lungimii liniilor de înaltă tensiune se poate constata că acestea au marcat o dezvoltare deosebit de importantă abia după realizarea sistemului energetic național, atunci cînd a apărut necesitatea intrării în funcțiune a unor instalații la tensiunea de 220 kV. Realizarea acestor linii de foarte înaltă tensiune se face în cadrul unei configurații care prevede formarea unui inel și a unor legături radiale, prin care se va putea asigura un schimb permanent între puternicele centre producătoare și consumatoare de energie electrică.

Anul	1950	1960	1965	1968
Linii 400 kV, km	—	—	380	847
Linii 220 kV, km	—	—	685	1470
Linii 110 kV, km	127	2 815	5 266	6 860

Corelat cu realizarea acestor linii au fost construite stații de transformare de la tensiunea de 220 kV și 110 kV, dintre care numai cele puse în funcțiune în anul 1968 totalizează o putere instalată de 875 MVA în stații de 220 kV și de 680 MVA în stații de 110 kV. Amintim, dintre acestea, stațiile de 220 kV Turnu Măgurele, Argeș-Arefu, Slatina.

Numărul de sate electrificate în perioada 1966—1968 este de 2870, procentul de electrificare a satelor ridicîndu-se de la 49% în anul 1965 la aproape 70% în anul 1968.

Producția de energie electrică a crescut de asemenea de la 905 kWh/locuitor în 1965 la peste 1400 kWh/locuitor în 1968.

În momentul de față și în perioada care urmează, electrificării îi revin sarcini deosebit de importante, care vor avea o contribuție esențială în dezvoltarea industriei noastre socialiste, prin asigurarea îmbunătățirii continue a alimentării cu energie electrică a tuturor ramurilor economice. Astfel, în cadrul prevederilor cuprinse în planul de 10 ani pentru dezvoltarea bazei energetice a țării noastre, urmează să se realizeze :

— extinderea electrificării, continuîndu-se politica de concentrare a puterii în centrale mari și folosindu-se pentru echiparea acestora agregate cu puteri unitare mari ;

— extinderea valorificării resurselor hidroenergetice ale Dunării în colaborare cu țările riverane vecine, precum și a rîurilor din interiorul țării ;

— începerea folosirii energiei nucleare pentru producerea de energie electrică ;

— continuarea și intensificarea acțiunii generale de economisire și raționalizare a consumurilor de combustibili, energie electrică și termică, prin creșterea randamentelor, valorificarea resurselor secundare energetice și scăderea consumurilor specifice ;

— extinderea termoficării industriale și urbane, valorificîndu-se la maximum instalațiile existente și cele noi ce se vor crea, prin amplasarea marilor consumatori industriali de energie termică și electrică în jurul centralelor de termoficare ;

— asigurarea unui nivel tehnic ridicat în exploatarea instalațiilor energetice și pregătirea cadrelor tehnice și economice necesare.

Pentru anul 1969, an hotărîtor pentru realizarea actualului plan cincinal, se prevede o producție de energie electrică de 31 miliarde kWh, aceasta corespunzînd ritmului sporit de folosire a energiei electrice în toate ramurile industriale, precum și în agricultură, pentru realizarea programului vast de irigare și desecări. În acest scop va fi continuat și în acest an ritmul intens de mărire a puterii instalate în centralele electrice, prin montarea cu precădere a grupurilor de putere unitară mare și foarte mare, care permit funcționarea cu parametri tehnico-economici superiori și deci realizează importante economii de combustibil. Creșterea puterii instalate în acest an se realizează în principal prin darea în exploatare a două grupuri de cîte 200 MW în centrala Borzești și în noua centrală pe huilă de la Deva, a unui grup de 100 MW în centrala Galați, precum și a unui grup de termoficare de 50 MW în centrala Govora.

Cu privire la noile investiții în centrale, se menționează că la centrala Deva, la care se va folosi pentru prima oară în țară drept combustibil huila, se va realiza o gospodărie de combustibil modernă, dotată cu utilaje de mare productivitate.

Rețeaua de înaltă și foarte înaltă tensiune pentru transportul și distribuirea energiei electrice va fi sporită cu circa 600 km linii de 110 kV și peste 400 km linii de 220 kV și 400 kV și vor fi începute liniile de foarte înaltă tensiune care vor permite evacuarea energiei electrice produse în centrala hidroelectrică de la Porțile de Fier.

Pentru distribuirea energiei electrice transportate la înaltă și foarte înaltă tensiune vor fi construite stații de conexiune și transformare, dintre care se menționează stațiile de 220 kV Baia Mare, Brașov și Hunedoara — Hășdat.

Prin aceste importante realizări în domeniul electrificării se continuă contribuția susținută adusă măreței opere de industrializare socialistă a țării noastre.

—— o ——

DIN ISTORIA ÎNVĂȚĂMÎNTULUI TEHNIC SUPERIOR ÎN BUCUREȘTI

Profesor emerit C. Dinculescu, membru corespondent
al Academiei Republicii Socialiste România

Sărbătorirea a 150 de ani de la înființarea primelor cursuri de inginerie în limba română în București, la Școala lui Gheorghe Lazăr, este un minunat prilej de a face bilanțul realizărilor dintr-o îndelungată perioadă de existență a învățămîntului nostru superior tehnic și de a reține din acest bilanț acele laturi menite să adîncească și să amplifice perfecționarea lui în viitor.

Istoria învățămîntului superior tehnic din București este o parte integrantă a istoriei noastre naționale și constituie o expresie elocventă a îndelungatelor străduințe și aspirații ale poporului nostru spre progres multilateral, spre o civilizație înfloritoare.

Ca și în alte țări, momentul trecerii la învățămîntul superior tehnic a fost precedat de o serie de etape pregătitoare. Din timpuri îndepărtate, cunoștințele tehnice au fost transmise și la noi de către maiștrii ucenicilor lor; erau cunoștințe empirice, izvorîte din practica meșteșugarilor și a altor activități.

Un pas înainte în transmiterea de cunoștințe tehnice l-a constituit introducerea predării de noțiuni cu caracter tehnic în cadrul învățămîntului de cultură generală, iar trecerea la înființarea de școli tehnice pe specialități — școli de nivel mediu — a reprezentat o nouă treaptă importantă.

Primele lucrări de inginerie au fost hotărniciile, care erau executate de anumiți boieri, fără o pregătire specială, din poruncă domnească. Pentru astfel de lucrări, dar mai ales pentru construcții, drumuri, poduri și alte lucrări publice, se simțea din ce în ce mai mult necesitatea unei pregătiri speciale superioare, care nu se poate dobîndi decît în școli de inginerie. Acestea au fost create în Moldova, la Iași, de către Gheorghe Asachi, în 1813, iar în Muntenia, la București, de către Gheorghe Lazăr, în 1818.

Înfăptuirea operei de ctitor al învățămîntului superior tehnic în București, în limba română, de către Gheorghe Lazăr, n-a fost deloc ușoară. Dar faima ilustrului patriot, cîștigată prin serioasa sa pregătire tehnico-științifică la Viena și prin lucrările de inginerie efectuate în țară, perseverența cu care a luptat pentru introducerea limbii române în învățămîntul superior, înaltul său patriotism, unite cu înțelegerea pe care a găsit-o unii oameni cu vederi înaintate, ca poetul Iancu Văcărescu, Iordache Golescu, Constantin Bălăceanu și alții, i-au dat posibilitatea să învingă toate piedicile și greutățile ivite. Cererea adresată Domnitorului țării, în decembrie 1817, de a funda o școală superioară cu predare în limba română a fost aprobată de Vodă Caragea și, în august 1818, Școala lui Gheorghe Lazăr și-a început cursurile într-o chilie la mînăstirea Sf. Sava — situată pe locul unde se află astăzi statuile lui Gheorghe Lazăr, Ion Heliade Rădulescu și Spiru Haret, fruntași de seamă ai învățămîntului românesc.

Spre deosebire de celelalte școli, spre care se îndreptau fiii de boieri și de oameni bogați, la școala lui Gheorghe Lazăr au învățat carte numeroși tineri din toate straturile sociale. Din 1820 au venit aci și șase bursieri moldoveni. Profesorul — transilvănean, elevii școlii — munteni și moldoveni, însăși structura corpului didactic și a grupului de școlari avea valoare de manifest și simbol al unității naționale.

De altfel, în lecțiile sale, pe lîngă elemente tehnice fundamentate științific, Gheorghe Lazăr introducea și elemente menite să dezvolte conștiința națională, încrederea în succesul luptei tuturor românilor pentru făurirea statului național modern, independent. La cursurile lui de istorie și filozofie sălile erau neîncăpătoare.

Școala tehnică superioară de la Sf. Sava, creată și condusă de Gheorghe Lazăr, a fost o strălucită pepinieră a intelectualității românești. La școala lui au învățat Ion Heliade Rădulescu, Eufrosin Poteca, Petrache Poenaru, Ion Pandeli și alți elevi care au jucat un rol important în anii următori.

Școala lui Gheorghe Lazăr a adus o contribuție remarcabilă la propășirea materială și spirituală a neamului nostru, la lupta lui de eliberare națională și socială. Este simptomatic faptul că, la 1821, profesorii și elevii ei s-au alăturat mișcării revoluționare condusă de Tudor Vladimirescu și însuși Gheorghe Lazăr îi învăța pe panduri să tragă cu tunul.

Din cauza condițiilor ivite în urma izbucnirii revoluției din 1821, școala lui Gheorghe Lazăr și-a închis porțile. Ion Heliade Rădulescu, fostul său elev, a încercat să-i reia firul, dar, fără sprijin oficial și fără fonduri, n-a putut să aibă deplin succes.

Un aport mai semnificativ a adus pe această linie un alt elev al lui Lazăr, Petrache Poenaru, care a absolvit mai tîrziu și Școala Politehnică din Paris. El a animat acele „Cursuri speciale" înființate prin legiuirile din 1832—1833, în cadrul cărora se învățau matematicile aplicate, agricultura practică, mecanica și arhitectura. Pe această linie Petrache Poenaru a făcut operă de înzestrare a școlii cu manuale și aparataj și a introdus în programa Colegiului Sf. Sava două clase cu profil ingineresc.

Cursurile tehnice întrerupte cîtva timp de evenimentele anilor 1848—1849, în special de ocupația străină, au fost reluate în octombrie 1850. Prin Ofisul domnesc din 17 octombrie 1850 s-a creat o facultate de ingineri, împărțită în trei secții: topografi, ingineri de poduri, arhitecți; în plus, s-a creat o școală de agricultură și de economie cîmpenească și alta de meșteșugari.

În condițiile procesului de făurire a statului național modern, al cărui început a fost marcat de actul istoric din 24 ianuarie 1859 — Unirea Principatelor Române — învățămîntul a căpătat o configurație nouă și un nou avînt.

La 1 octombrie 1864, domnitorul Alexandru Ioan Cuza a dat Decretul de înființare a „Școlii de Ponți și Șosele, Mine și Arhitectură". Noua școală tehnică superioară și-a încetat însă activitatea după detronarea domnitorului, în februarie 1866.

O școală superioară tehnică devenea însă o necesitate foarte acută, în vederea pregătirii de specialiști pentru construcția de căi ferate, șosele, poduri, depozite și clădiri. Pentru acoperirea acestor nevoi, la 30 octombrie 1867 se creează „Școala de Poduri, Șosele și Mine", cu o durată de 5 ani, din care un an preparator, cu două secții de specializare în ultimul an de studii: o secție de poduri și șosele și o secție de mine. *Această școală a funcționat fără întrerupere pînă în zilele noastre*, s-a dezvoltat și perfecționat continuu, fiind transformată în 1920 în Școala Politehnică din București și în 1948 în Institutul Politehnic București, Institutul de Construcții, Institutul de Petrol, Gaze și Geologie, Institutul de Agronomie, Institutul de Arhitectură.

Cîmpul de activitate tehnică, sporit în mod considerabil, a determinat în anul 1881 reorganizarea Școlii de Poduri, Șosele și Mine, cînd a căpătat denumirea de „Școala Națională de Poduri și Șosele" și a fost pusă sub conducerea lui Gheorghe Duca, un remarcabil organizator și promotor al învățămîntului nostru tehnic superior. El a inițiat și a reușit să realizeze, luptînd cu mari greutăți, construirea în regie, în anul 1886, a actualului local al Politehnicii, corpul A, în imediata apropiere a celui mai important centru feroviar din țară.

Deosebit de exigent, Gheorghe Duca acorda o mare atenție selecționării candidaților, pregătirii și alegerii corpului profesoral, disciplinei școlare. Era în același timp un dușman neîmpăcat al superficialității în însușirea cunoștințelor

tehnice. „O cunoştinţă superficială—spunea el — este mult mai vătămătoare decît o ignoranţă; cînd cineva nu ştie, el tace şi caută să înveţe; cînd cineva crede că ştie, cînd n-are cunoştinţă de ignoranţa sa, el comite, cu siguranţă greşelile cele mai stranii şi e mult mai greu de rectificat cunoştinţa greşită decît de a dobîndi cunoştinţe noi".

Şcoala Naţională de Poduri şi Şosele a numărat în rîndurile corpului didactic mari personalităţi, ca: Spiridon Jorceanu, Caputineanu, Petrache Poenaru, Spiru Haret, Anghel Saligny, David Emanuel, Traian Lalescu, Elie Radu, Grigore Cerchez, Andrei Ioachimescu, Ion Ionescu, Gheorghe Filipescu şi alţii, iar printre directorii care i-au ridicat prestigiul s-au aflat Scarlat Vîrnav şi C. Mironescu.

Diploma Şcolii de Poduri şi Şosele din Bucureşti era echivalată direct cu diploma şcolii cu acelaşi nume de la Paris „Ecole des Ponts et Chaussées".

Pînă la sfîrşitul primului război mondial, Şcoala Naţională de Poduri şi Şosele a primit noi reorganizări, adaptîndu-se pe cît posibil la cerinţele mereu sporite ale economiei naţionale. În anul 1914 se propusese transformarea ei în Şcoală Politehnică, dar realizarea a fost amînată din cauza izbucnirii primului război mondial.

Desăvîrşirea formării statului naţional unitar român în 1918 a deschis noi perspective dezvoltării poporului nostru în numeroase domenii de activitate, inclusiv în domeniul învăţămîntului tehnic superior. Pe de altă parte, după înfăptuirea acestui act de mare însemnătate în existenţa politică a naţiunii noastre, setea de cultură tehnică a crescut, iar nevoile de specialişti care să servească progresul tehnic şi industrializarea României au sporit şi ele în mod simţitor. Decretul — lege din 10 iunie 1920, prin care s-a înfiinţat *Şcoala Politehnică din Bucureşti*, a răspuns parţial acestor necesităţi.

Şcoala a avut iniţial patru secţiuni, corespunzătoare facultăţilor: Construcţii, Electromecanică, Mine, Secţiunea industrială, la care, în decursul vremii s-au adăugat multe altele, în cadrul succesivelor îmbunătăţiri, dezvoltări şi reorganizări date învăţămîntului tehnic superior din Bucureşti. În anul 1923 primeşte Secţia Silvică, iar în anul 1938, ca urmare la „Legea pentru concentrarea pregătirii inginerilor în Şcoli politehnice", din 21 martie 1937, la şcoala aceasta se alipesc o serie de alte şcoli tehnice superioare, astfel încît în anul 1948 Politehnica din Bucureşti funcţiona cu şapte facultăţi: Construcţii, Electromecanică, Mine şi Metalurgie, Silvică, Chimie industrială, Agronomie şi Arhitectură.

O serie de facultăţi erau împărţite în secţii de specializare, după cum urmează:

— La Facultatea de Electromecanică, secţiile: Mecanică, Aviaţie, Armament, Tehnică nucleară, Electrotehnică, Electrocomunicaţii;

— La Facultatea de Chimie industrială, secţiile: Petrol, Industrii alimentare, Textile, Metalurgie;

— La Facultatea de Mine şi Metalurgie, secţiile de Mine şi de Metalurgie.

Să parcurgem pe scurt evoluţia învăţămîntului tehnic superior în Bucureşti în intervalul 1920—1948.

Învăţămîntul de poduri, şosele, construcţii, căi ferate, al cărui început se fixează la anul 1818 în Şcoala lui Gheorghe Lazăr, se desfăşoară după 1920 în Facultatea de Construcţii, la care se ataşează în 1926 o Secţie de hotarnici şi cadastru.

Învăţămîntul de electromecanică a început să se dezvolte înainte de anul 1910, în Şcoala Naţională de Poduri şi Şosele, prin introducerea de cursuri de Electrotehnică, Maşini electrice, Elemente de maşini, Construcţii de maşini, Maşini cu aburi, Locomotive, Instalaţii şi exploatări industriale, Maşini hidraulice şi a fost reorganizat în 1920 ca un învăţămînt enciclopedic, în Facultatea de Electromecanică.

În cadrul Universităţii din Bucureşti se creează la 1912 Institutul Electrotehnic pe lîngă Facultatea de Ştiinţe, organizat de profesorul Dragomir Hurmuzescu, pentru formarea de ingineri electricieni cu regim de şcolarizare universitar. Prin legea pentru concentrarea pregătirii inginerilor în şcolile politehnice din 20 martie 1937, Institutul Electrotehnic a fost contopit în Facultatea de Electromecanică a Politehnicii din Bucureşti.

Învăţămîntul de mine şi metalurgie, al cărui început apare la anul 1867 în Şcoala de Poduri, Şosele şi Mine, este organizat în 1920 cu Secţie de Mine în Politehnica din Bucureşti, în care se introduc succesiv cursuri de Metalurgie şi de Siderurgie.

Învăţămîntul de silvicultură îşi are începuturile în anul 1883 în Şcoala specială de Silvicultură — contopită în 1886 cu Şcoala de Agricultură şi Silvicultură de la Herăstrău — apoi în 1892 în Şcoala de aplicaţie silvică de la Brăneşti. Reorganizată în 1893 ca Şcoală de Silvicultură, devine de nivel superior în 1901, cînd trece la durata studiilor de patru ani avînd la bază bacalaureatul, şi este încorporată prin legea din 1923 în Şcoala Politehnică, unde formează Secţia Silvică, devenită apoi Facultatea de Silvicultură.

Învăţămîntul de „Chimie industrială" începe în anul 1919 la Institutul de Chimie industrială de pe lîngă Facultatea de Ştiinţe a Universităţii din Bucureşti, organizat de profesorul Negoiţă Dănăilă, şi se dezvoltă totodată în paralel — începînd din 1920 — în Secţia Industrială din Şcoala Politehnică. În 1938, prin legea de concentrare menţionată mai sus, cele două unităţi de învăţămînt sînt contopite şi dau naştere Facultăţii de Chimie industrială din Politehnica din Bucureşti.

În Secţia industrială şi apoi în Facultatea de Chimie industrială — la Secţia de Petrol — începe să se dezvolte învăţămîntul tehnic superior în ramurile Exploatarea petrolului şi Rafinării de petrol, constituind nucleul viitorului Institut de Petrol, Gaze şi Geologie.

Învăţămîntul superior agricol are o veche tradiţie în şcoala românească, prima formă de organizare constituind-o „Şcoala de arhitectură de la Pantelimon" înfiinţată în 1852 de Domnitorul Barbu Ştirbey. Această şcoală a primit în decursul timpului diferite transformări, conducînd la crearea unei facultăţi care, prin legea de concentrare amintită, a fost încadrată în 1938 în Politehnica din Bucureşti ca Facultate de Agronomie, unde a funcţionat pînă la anul 1948.

Învăţămîntul de arhitectură începe în Bucureşti cu Secţia de arhitectură din „Şcoala de Belle Arte din Bucureşti" (1865—1867) care primea absolvenţi de la secţia de matematici a Facultăţii de Ştiinţe. Durata studiilor era de trei ani, dar a funcţionat numai un an şi jumătate. În 1892—1897 funcţionează Şcoala Societăţii Arhitecţilor Români, care primea absolvenţi a patru clase gimnaziale. În 1897 se înfiinţează Şcoala Naţională de Arhitectură de pe lîngă Şcoala de Belle Arte din Bucureşti care este prima instituţie de stat de învăţămînt superior de arhitectură, care a funcţionat cu continuitate. A primit absolvenţi a şase clase de liceu şi a fost transformată în 1904 în Şcoala Superioară de Arhitectură, care a funcţionat independent. Din 1912 se cere la admitere absolvenţa liceului, iar în 1932 este transformată în Academia de Arhitectură, cu durata studiilor de cinci ani, avînd la bază bacalaureatul. Ca urmare a legii pentru concentrarea învăţămîntului tehnic din anul 1937, ea trece în 1938 în Politehnica din Bucureşti, ca Facultate de Arhitectură, unde funcţionează pînă la 1948.

Învăţămîntul de arhitectură a fost marcat în intervalul 1897—1948 de profesori proeminenţi, ca G. Dem. Mirea, Ion Mincu, Petre Antonescu, Emil Pangratti, I. D. Berindei, Ştefan Burcuş, Grigore Cerchez, N. Ghica — Budeşti, Duiliu Marcu, Petre Smărăndescu şi alţii, creatori de frumoase realizări arhitectonice care onorează oraşele patriei noastre.

O caracteristică a Şcolii Politehnice din Bucureşti a fost aceea că, prin străduinţele corpului profesoral, a promovat în procesul de învăţămînt soluţia îmbinării pregătirii cu caracter tehnic multilateral, politenhnic, cu pregătirea de specialitate.

Menţinîndu-se tradiţia, s-a dat o atenţie deosebită pregătirii matematice, justificată pe bună dreptate prin faptul că inginerul nu se poate dispensa de cunoştinţe matematice solide, care intervin la fiecare pas în cariera sa, precum şi prin argumentul, pe deplin valabil, că „Matematica este un instrument unic de formare a judecăţii juste şi precise, indispensabil inginerului".

De asemenea, Şcoala Politehnică a acordat o atenţie deosebită şi pregătirii economice, considerînd pe bună dreptate că rolul inginerului nu este numai de ordin tehnic, ci şi de ordin economic, întrucît este chemat să asigure organizarea eficientă a fabricilor, uzinelor etc. Observaţia este plină de semnificaţie, şi astăzi ştim mai bine că problemele tehnice în cadrul societăţii noastre se prezintă sub o formă complexă, ca probleme tehnico-economice, iar tehnica îmbinată cu economia capătă un sens profund de utilitate socială.

O dată cu victoria insurecţiei armate din August 1944 naţiunea noastră a păşit pe un nou drum, iar instituţiile sale, inclusiv cele de învăţămînt superior, au cunoscut importante dezvoltări şi transformări calitative.

Trecerea la înfăptuirea sarcinilor revoluţiei socialiste, după înlăturarea monarhiei — în decembrie 1947 — şi după naţionalizarea principalelor mijloace de producţie — în iunie 1948 — ,organizarea economiei pe bază planificată, avîntul industrializării ţării au produs un puternic salt calitativ şi în structura şi nivelul învăţămîntului superior tehnic, iar reforma învăţămîntului din 3 august 1948 a însemnat o etapă importantă în evoluţia şcolii româneşti, marcînd trecerea de la şcoala veche — burgheză — la şcoala nouă — socialistă.

Transformate în institute de învăţămînt tehnic superior, facultăţile şi secţiile Politehnicii din Bucureşti au fost reorganizate pe principii noi, dînd posibilitatea ca — împreună cu alte institute nou create — să se pregătească pe scară largă ingineri necesari producţiei industriale, în continuă creştere şi variată diversificare.

Drumul parcurs de învăţămîntul tehnic superior în intervalul 1948—1968 este deosebit de semnificativ. Structura sa a cunoscut modificări şi îmbunătăţiri numeroase, adaptîndu-se cerinţelor crescînde de cadre inginereşti necesare economiei socialiste şi exigenţelor sporite în ce priveşte pregătirea studenţilor.

Prin reforma din 1948, Politehnica din Bucureşti a fost transformată în Institutul Politehnic din Bucureşti, avînd iniţial patru facultăţi : Electrotehnică, Mecanică, Chimie industrială, Textile. Ulterior, numărul facultăţilor s-a mărit, în prezent existînd în Institutul Politehnic din Bucureşti 11 facultăţi : Electrotehnică, Energetică, Automatică, Electronică şi Telecomunicaţii, Mecanică, Mecanică Agricolă, Tehnologia construcţiilor de maşini, Chimie industrială, Metalurgie, Transporturi şi Tehnico-economică.

În primele 10 facultăţi, care au 34 secţii de specializare, se pregătesc ingineri prin cursuri de zi cu durata de cinci ani ; la unele secţii există şi cursuri serale, cu durata de şase ani.

În cea de-a 11-a facultate, Tehnico-economică, se pregătesc ingineri-economişti, prin cursuri post-universitare, în 18 specialităţi, şi anume : Construcţii de maşini, Siderurgie, Metalurgie neferoasă, Energetică, Electrotehnică, Electronică şi Telecomunicaţii, Industria petrolieră-exploatare, Industria petrolieră-rafinare, Silvicultură, Agricultură, Industrializarea lemnului, Industria chimică, Industria materialelor de construcţii, Construcţii, Transporturi-drumuri, Industria minieră, Industrii alimentare, Industria uşoară.

De la înfiinţarea Politehnicii din Bucureşti, în anul 1920, şi pînă în 1968, ea a dat producţiei 34 475 ingineri, dintre care 20 207 au absolvit Institutul Politehnic Bucureşti în intervalul 1948—1968. Ei au adus o contribuţie importantă la construirea bazei tehnice materiale a socialismului în patria noastră.

În anul 1948, Facultatea de Construcţii — cea mai veche facultate a Politehnicii din Bucureşti — s-a separat de Politehnică, iar învăţămîntul de construcţii s-a reorganizat.

Institutul de Construcţii Bucureşti funcţionează în prezent cu următoarele facultăţi : Construcţii, Instalaţii pentru construcţii, Maşini şi utilaj pentru construcţii, Hidrotehnică.

Anul 1948 constituie un an de cotitură şi pentru învăţămîntul agronomic. Facultatea de Agronomie — separată de Politehnică — formează Institutul Agronomic, care funcţionează în paralel cu Facultatea de Medicină veterinară. Se înfiinţează alte trei noi facultăţi : de Horticultură şi de Mecanizarea agriculturii, ambele în Institutul Agronomic, şi Facultatea de Zootehnice, în Institutul de Zootehnie şi medicină veterinară. În anul 1952, prin contopirea Institutului Agronomic cu Institutul de Zootehnie şi medicină veterinară, ia naştere actualul Institut Agronomic „Nicolae Bălcescu" din Bucureşti, care în prezent funcţionează cu trei facultăţi : Agricultură, Horticultură şi Medicina verterinară.

Secţia de Petrol din Facultatea de Chimie industrială din Politehnica Bucureşti a format în anul 1948 nucleul în jurul căruia s-a dezvoltat Institutul de Petrol, Gaze şi Geologie, care funcţionează în prezent cu următoarele facultăţi : Geologie tehnică, Exploatarea zăcămintelor de ţiţei şi gaze, Tehnologia şi chimizarea ţiţeiului şi gazelor, Maşini şi utilaj petrolier.

Bazat pe experienţa şi tradiţiile industriei noastre de petrol, una din cele mai vechi din lume, Institutul de Petrol, Gaze şi Geologie a cîştigat în ţară şi pe plan mondial un renume binemeritat. În cadrul lui studiază peste 300 studenţi străini, din 34 ţări, reprezentînd 20% din numărul total al studenţilor. În cursul activităţii sale, Institutul a pregătit ingineri, alţi specialişti şi doctori, veniţi din peste 50 ţări, iar în cadrul lui funcţionează în prezent cursuri postuniversitare internaţionale UNESCO de petrol şi geologie.

Inginerii români pregătiţi de acest institut au contribuit în mare măsură la succesele obţinute de industria noastră de petrol.

Prin reforma învăţămîntului din anul 1948, Facultatea de Arhitectură s-a separat de Institutul Politehnic, şi a format Institutul de Arhitectură, cu o facultate de Arhitectură şi Urbanism. Dezvoltat amplificat ca singurul institut de arhitectură din ţară, el dă un mare număr de absolvenţi talentaţi care împînzesc suprafaţa întregii noastre ţări cu realizări arhitectonice valoroase.

Secţia de Mine din Politehnica Bucureşti a trecut în anul 1948 la Institutul de Geologie şi Tehnică minieră din Bucureşti, restructurat în 1951 ca Institutul de Mine din Bucureşti, cu patru facultăţi. În anul 1957 întregul învăţămînt superior tehnic minier a fost concetrat în Institutul de Mine Petroşeni.

Facultatea de Silvicultură a ieşit din Politehnică în 1948 şi formează astăzi Facultatea de Silvicultură din Institutul Politehnic Braşov.

Secţia de Tehnică navală din Politehnică a trecut la actualul Institut Politehnic din Galaţi unde a format nucleul Facultăţii de Mecanică.

Secţia de industrii alimentare din Facultatea de Chimie industrială a Politehnicii a fost dezvoltată în anul 1948 şi a format Institutul de tehnica industriilor alimentare din Bucureşti, avînd o facultate cu patru secţii de specializare, amplificate succesiv la două facultăţi cu opt secţii de specializare. Acest institut a fost mutat în 1955 la Galaţi unde a format — împreună cu Institutul de piscicultură din Constanţa — actuala Facultate de Tehnologia produselor alimentare şi tehnica pescuitului.

În anul 1948 a fost creat în Bucureşti Institutul de Transporturi, devenit Institutul de Căi Ferate şi desfiinţat în 1959, specialităţile respective fiind repartizate parte la Institutul de Construcţii şi parte la Institutul Politehnic Bucureşti, unde formează Facultatea de Transporturi.

Tot în București a fost creat Institutul pentru Industrializarea lemnului, mutat apoi la Brașov, unde formează Facultatea de industrializarea lemnului din Institutul Politehnic Brașov. În același an a fost creat Institutul de Gospodărie comunală, care însă nu s-a dovedit viabil și a fost desființat.

Trebuie subliniat faptul că, prin grija partidului, în cele două decenii de la reforma învățămîntului din 1948, institutele tehnice de învățămînt superior din București au cunoscut atît modificări organizatorice, cît și o dezvoltare și perfecționare continuă a bazei materiale pentru desfășurarea procesului de învățămînt. Partidul și statul nostru socialist au acordat o deosebită atenție institutelor tehnice superioare înzestrîndu-le laboratoarele cu aparatură modernă, cu instrumente și mașini perfecționate pentru lucrările practice ale studenților și cercetarea științifică a cadrelor didactice.

Un sprijin deosebit s-a acordat pentru construcția de noi localuri de învățămînt pentru Institutul de Petrol, Gaze și Geologie, Institutul de Construcții, Institutul Agronomic, Institutul de Arhitectură și în special pentru noul local al Institutului Politehnic București care va fi cea mai importantă construcție de învățămînt superior din țara noastră, realizată la cel mai înalt nivel al tehnicii moderne.

Dezvoltarea rapidă a învățămîntului tehnic superior în București în intervalul 1948—1968 este marcată și prin cîteva cifre comparative :

	În anul 1948	*În anul 1968*
– Facultăți	16	24
– Studenți	7 056	26 283
– Absolvenți	873	3 591
– Cadre didactice	855	2 681
– Burse	930	11 857
– Locuri în cămine	1 677	12 284
– Suprafețe pentru învățămînt, m^2	66 701	292 594

Numărul total al absolvenților pregătiți în intervalul 1948—1968, în cele cinci institute tehnice superioare, care funcționează în prezent în București, este de 40 091.

Dar cotitura esențială, în conținut și orientare, a făcut-o învățămîntul tehnic superior după 1948. De la un învățămînt teoretic lipsit de baza materială a laboratoarelor, s-a trecut la un conținut legat de nevoile reale ale producției, ale construcției socialiste, învățămînt împărțit pe specialități dar structurat pe un cuprins larg, în așa fel ca absolvenții să aibă un profil bine definit dar cu un cîmp larg de activitate.

Prin documentele de partid s-a pus în fața cadrelor didactice problema ridicării gradului de calificare la nivelul științei și tehnicii celei mai avansate, pe baza dezvoltării activității de cercetare științifică, care — în viața modernă — a devenit o forță directă de producție.

Această acțiune inițiată de partid a dus la dezvoltarea intensă a muncii de cercetare științifică, caracterizată prin rezolvarea a numeroase probleme puse direct de producție. Cercetarea științifică a fost introdusă și în activitatea studenților, în cercurile științifice studențești, în care ei sînt antrenați încă de pe băncile școlii în munca de cercetare. Multe din rezultatele obținute în aceste cercuri au trecut să fie aplicate în producție.

Tot sub îndrumarea partidului s-a trecut în cercetarea științifică de la teme mici, pulverizate, generale, la tratarea unor teme de importanță principială, lucrate de colective puternice, complexe, antrenînd mai multe catedre diferite și mergînd cu rezolvarea pînă la aplicarea în producție a rezultatelor obținute.

Prin aceste acțiuni s-a legat activitatea corpului didactic tot mai strîns de producție, îmbinînd sarcina de formare a noilor cadre cu munca de ridicare a nivelului tuturor activităților desfășurate în școală.

Sub același imbold, s-a dezvoltat intens munca de pregătire a tinerelor cadre prin doctorat, acțiune care cuprinde în prezent un număr masiv de cadre atît pentru învățămînt, cît și din producție.

Activitatea de cercetare științifică, pregătirea prin doctorat, unite cu munca intensă de fiecare zi a cadrelor didactice au condus la ridicarea nivelului tuturor activităților desfășurate în învățămîntul superior.

Pentru perfecționarea cadrelor inginerești din producție s-au introdus cursurile post-universitare în numeroase specialități și s-au creat posibilitățile pentru ridicarea nivelului lor prin doctorat.

Cadrele care se vor forma în secțiile de subingineri, înființate în 1968 pentru numeroase specialități, vor crea posibilitatea ca inginerii să se ocupe efectiv de problemele esențiale și de înalt nivel ale producției, lăsînd în sarcina subinginerilor problemele mai simple, curente. Prin aceasta se va da posibilitatea obținerii unui randament superior în munca inginerilor în producție și totodată se va mări răspunderea pe care atît cadrele didactice, cît și absolvenții institutelor tehnice o au față de sarcinile ce le revin.

Cu anul universitar 1968/1969 se deschide o nouă etapă în istoria învățămîntului nostru superior tehnic, ca urmare a intrării în vigoare a noii Legi a învățămîntului în Republica Socialistă România, care creează condiții și mai favorabile pentru desfășurarea activităților de învățămînt la nivelul cel mai ridicat. Profesorii și studenții, uniți în puternice colective de muncă, vor depune toate eforturile pentru a corespunde sarcinilor ce le revin din această nouă lege.

★

Succinta trecere în revistă a celor 150 de ani de la înființarea primelor cursuri de inginerie în limba română în București este plină de învățăminte. Ea dezvăluie devotamentul, spiritul de abnegație, pasiunea, profunda dragoste de patrie și atașamentul indestructibil față de nevoile poporului manifestate de pionierii învățămîntului nostru superior tehnic și de urmașii lor și scoate în evidență sarcinile deosebite ce revin din documentele de partid cadrelor didactice și studenților pentru continua perfecționare a învățămîntului superior tehnic și punerea lui în slujba propășirii materiale și spirituale a poporului.

Ținem să exprimăm convingerea noastră deplină că prin muncă stăruitoare și continuă vom putea să ducem mai departe experiența trecută și să facem față cerințelor prezente și viitoare, pentru că orînduirea socialistă conține în însăși natura ei potențele spre perfecționarea continuă, iar politica înțeleaptă și profund științifică a partidului nostru este urmată de întreaga națiune, cu dragostea și devotamentul cu care întregul popor luptă pentru a construi un viitor fericit pentru patria noastră socialistă.

Cadrele didactice și studenții mulțumesc din inimă conducerii de partid și de stat pentru toată grija cu care îi înconjoară, pentru atenția cu care urmărește activitatea profesorilor și studenților, pentru sprijinul multilateral și prețuirea pe care o arată învățămîntului tehnic superior și absolvenților lui, care cu rîvnă, devotament și totală dăruire își aduc aportul la construirea socialismului în scumpa noastră patrie.

———— o ————

Probleme de optimizare în exploatarea amenajărilor hidroenergetice

Ing. M. Vicol *)

1. **Probleme abordate.** Parte componentă a optimizării regimurilor de funcţionare a sistemelor energetice, folosirea raţională a amenajărilor hidroenergetice impune satisfacerea, în primul rînd, a criteriilor de bază ale acestei optimizări. Particularităţile exploatării amenajărilor hidroenergetice, legate uneori de folosirea complexă a stocului, de cunoaşterea aproximativă a regimului debitelor şi de necesitatea utilizării optime a acumulărilor, ne obligă să luăm în consideraţie şi alţi factori de eficienţă, introducînd criterii suplimentare în calculele de optimizare.

Ne propunem să determinăm factorii care conduc la eficienţa economică maximă a exploatării unei amenajări hidroenergetice, să stabilim criteriile care trebuie satisfăcute în acest scop şi să elaborăm o metodă de calcul unitară în vederea obţinerii unui regim optim.

Încercăm în acest fel să deschidem calea unor cercetări mai la obiect privind optimizarea exploatării centralelor hidroelectrice, enunţînd criterii noi şi elaborînd pe baza lor metode noi de calcul.

2. **Factorii care determină eficienţa economică a exploatării unei amenajări hidroenergetice.** A obţine în exploatarea unei amenajări hidroenergetice o eficienţă economică sporită înseamnă a o folosi în aşa fel încît aportul adus venitului naţional să fie maxim.

Particularităţile amintite ale exploatării unei amenajări hidroenergetice fac ca această eficienţă maximă să se determine în condiţiile conlucrării ei în cadrul sistemului energetic naţional şi ţinînd seamă de toate folosinţele ce-i sînt impuse.

Eficienţă maximă însemnînd pierderi minime, vrem să subliniem că la aceste amenajări principalele pierderi nerecuperabile provin din două surse :

— pierderile de debite prin deversări, atunci cînd perioada de viituri găseşte lacul plin, şi

— pierderile de puteri, implicit de energie, datorate funcţionării instalaţiilor la parametri inferiori celor optimi (cu referire în special la reducerea căderii şi la mărirea debitelor). Pentru această categorie de pierderi preponderente sînt pierderile hidraulice, ele depinzînd cel mai mult de regimul de încărcare a centralei ; pentru exemplificare, în figura 1 indicăm variaţia pierderilor totale, funcţie de încărcare, la centrala „V. I. Lenin"-Bicaz.

Observăm că dacă aceste pierderi sînt de ordinul a 20% pentru sarcini pînă la 100 MW, ele depăşesc 35—40% la puteri mai mari de

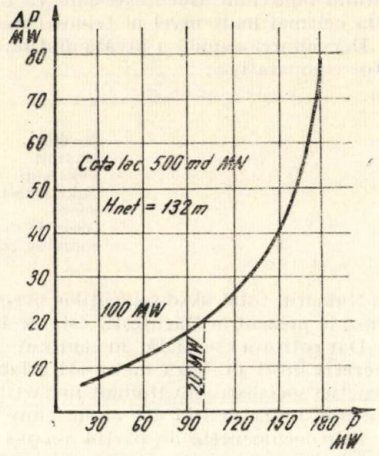


Fig. 1. Pierderile globale de putere la CHE „V. I. Lenin"-Bicaz.

150 MW, ajungînd să reprezinte faţă de încărcarea optimă (aprox. 100 MW) pierderi suplimentare de ordinul a 40—50 MW.

Pe baza celor subliniate mai sus, considerăm că principalii factori de care depinde eficienţa exploatării unei amenajări hidroelectrice sînt următorii :

2.1. Modul cum este utilizat stocul anual pentru satisfacerea cerinţelor energetice şi cerinţelor de altă natură impuse amenajării (irigaţii, navigaţie, alimentări cu apă).

Această utilizare complexă a stocului anual impune o distribuţie optimă pe fluxuri de folosinţe, în sensul obţinerii unei eficienţe economice maxime de ansamblu.

2.2. Gradul de utilizare a stocului anual, înţelegînd prin aceasta raportul între volumul afluent şi volumul de apă utilizat de centrală şi de restul consumatorilor de apă. Acest grad depinde în primul rînd de posibilităţile de acumulare de care dispune amenajarea respectivă şi, în al doilea rînd, de modul cum este folosită această capacitate de acumulare.

Imposibilitatea cunoaşterii regimului hidrologic face ca în această privinţă calculele să se bazeze pe date statistice, să indice numai domenii de variaţie a regimurilor optime şi să impună precizarea acestora pe măsura cunoaşterii caracterului anului respectiv.

2.3. Locul rezervat hidrocentralei în acoperirea graficului de sarcină al sistemului, loc

*) M. Vicol este inginer şef la Întreprinderea Centrala hidroelectrică Porţile de Fier.

ce va determina volumul economiilor de combustibil pe care-l realizează şi va preciza şi gama de puteri în care va lucra.

Cu precizie, acest loc nu poate fi determinat decît în etapa de calcul în care se face distribuţia optimă a sarcinii sistemului pe centralele componente, adică de la zi la zi, fiind strict legat de structura sistemului şi a curbei sale de sarcină.

În mod grosier, acest loc trebuie stabilit încă de la începutul calculelor de optimizare, de el depinzînd aproximaţiile tuturor etapelor de calcul. Stabilirea iniţială a locului ce-l va ocupa hidrocentrala respectivă în palierul de puteri al sistemului se va face în mod calitativ, în zona rezervată puterilor hidro, în funcţie de gradul de compensare a acumulării proprii şi în funcţie de caracteristica sa de pierderi globale.

2.4. Parametrii principali la care este exploatată amenajarea, referindu-ne la căderile nete şi debitele de lucru ale centralei, parametri ce determină pierderile globale în instalaţii, element important al eficienţei economice.

Deşi acestui factor i s-a acordat importanţa cuvenită în distribuţia sarcinii pe grupurile unei centrale [1], el nu a fost evidenţiat în calculele de distribuţie a sarcinii pe mai multe centrale hidroelectrice funcţionînd în paralel, calcule în care s-au folosit în mod arbitrar, prin similitudine cu centralele termoelectrice, curbele creşterilor relative ale consumului de apă [2], [3], [4].

Atunci cînd la acoperirea curbei de sarcină a sistemului concură, în zona de vîrf, mai multe hidrocentrale, locul optim al fiecăreia va putea fi determinat pe baza caracteristicii proprii de pierderi globale, satisfăcînd simultan condiţia de debit mediu impus.

3. **Criteriile de bază ale optimizării exploatării amenajărilor hidroeneregetice.** Din analiza factorilor care determină eficienţa economică a exploatării amenajărilor hidroenergetice rezultă caracterul complex al condiţionărilor, acţiunea lor nesimultană în intervale largi de timp şi necesitatea aproximării succesive a influenţei acestor factori.

Principalele criterii ale optimizării funcţionării centralelor hidroelectrice considerăm că sînt următoarele :

3.1. *Criteriul consumului minim de combustibil* (sau costul minim al acestuia) rămîne criteriul de bază ori de cîte ori se va trata problema optimizării pe linia folosinţei energetice a amenajării. (În cele ce urmează îl vom nota prescurtat B_{min}).

3.2. *Criteriul aportului maxim adus venitului naţional* va fi criteriul fundamental în optimizarea repartiţiei stocului anual pe fluxuri de folosinţe.

În cazul în care în balanţă intră folosinţe destinate exportului (trafic naval internaţional, export de energie de vîrf, export de produse agricole), acest criteriu va deriva în criteriul aportului maxim de valută pe care folosinţele complexe respective îl realizează.

3.3. *Criteriul pierderilor globale minime*, criteriu care cere ca, în programarea funcţionării în paralel a centralelor hidroelectrice, fiecare să lucreze în gama de puteri care va determina pe întregul interval considerat şi pe totalitatea centralelor respective pierderile minime de putere şi de energie (îl vom nota prescurtat ΔP_{min}).

Folosirea separată sau concomitentă a celor trei criterii definite mai sus va depinde de procesul ce se cere optimizat şi de aproximaţiile cu care cunoaştem mărimile ce intră în calcul.

4. **Etapele de calcul ale optimizării exploatării amenajărilor hidroenergetice.** Din cele relatate mai sus rezultă că regimul optim de funcţionare a unei amenajări hidroenergetice se determină din aproape în aproape, prin aproximaţii succesive, pornind de la optimizarea unor procese de lungă durată (distribuţia stocului pe fluxuri de folosinţe, corelaţia optimă între cotele acumulării şi debitele regularizate) şi terminînd cu repartiţia optimă a sarcinii orare a sistemului pe centralele componente.

Caracteristica principală a acestui proces de optimizare este cunoaşterea cu precizie din ce în ce mai mare a mărimilor ce intră în calcule, pe măsură ce se micşorează intervalul de timp luat în consideraţie. Rezultă că etapele de calcul anuale sau multianuale vor determina domenii optime de variaţie a parametrilor ce se cer optimizaţi (sau corelaţii optime între ei) şi numai etapelor de calcul lunare sau zilnice le vom putea impune determinarea univocă a mărimilor ce exprimă regimul optim.

Cu aceste precizări, considerăm că etapele de calcul ale optimizării exploatării amenajărilor hidroenergetice sînt următoarele :

a) Optimizarea exploatării marilor acumulări ţinînd seamă de folosinţele complexe ce le sînt impuse, etapă ce determină repartiţia optimă a stocului pe folosinţe şi corelaţiile optime între cotele acumulării şi debitele regularizate.

b) Optimizarea regimului anual de exploatare a acestor amenajări, etapă ce determină

domeniul optim în care poate varia acest regim, funcţie de caracteristica hidrologică a anului respectiv şi corelaţia optimă ce trebuie respectată între mărimile ce exprimă eficienţa maximă a exploatării.

c) Optimizarea regimului de încărcare zilnică a centralelor hidroelectrice, etapă ce determină, în domeniile de variaţie impuse de rezultatele etapelor anterioare şi în concordanţă cu condiţiile hidrologice reale, parametrii optimi de funcţionare.

Vom expune principial metodele de calcul propuse pentru fiecare etapă, prezentarea lor în detalii şi cu aplicaţii practice depăşind cadrul rezervat unui articol. Vom încerca să revenim cu aceste prezentări şi demonstraţii practice.

4.1. *Optimizarea exploatării marilor acumulări.* Obiectivul principal al acestei etape este stabilirea corelaţiei optime între cotele acumulării şi debitele regularizate, în condiţiile optimizării distribuţiei stocului anual pe fluxuri de folosinţe, respectînd eventualele restricţii impuse de satisfacerea necondiţionată a unor cerinţe (puteri şi energii minime asigurate în anumite sezoane, debite minime livrate în aval etc.).

Criteriile folosite în calculele acestei etape vor fi B_{min} (derivat în producţie maximă de energie) şi criteriul aportului maxim adus venitului naţional în cadrul utilizării complexe a stocului regularizat.

În principiu, metodologia de calcul porneşte de la optimizarea exploatării acumulării numai în scopuri energetice, introducînd ulterior corecţiile impuse de optimizarea repartiţiei stocului pe fluxuri de folosinţă.

În acest scop vom folosi datele hidrologice de care dispunem pentru construirea curbei integrale a debitelor pe perioada respectivă [5], efectuînd mai multe variante de regularizare, conform corelaţiilor impuse între cotele acumulării (∇_{lac}) şi debitele regularizate ($Q_{reg.}$).

Variantele de corelaţie se aleg ţinînd seamă de următoarele recomandări:

a) Momentul corelaţiei — data fixă la care se impune în fiecare an respectarea ei — trebuie ales astfel încît să corespundă începutului unui sezon hidrologic, suprapus pe cît posibil unei etape caracteristice de consum.

b) Numărul momentelor (şi implicit al corelaţiilor impuse) trebuie să fie cît mai mic pentru a nu complica inutil calculele.

c) Variantele de corelaţie ale fiecărui moment se aleg iniţial în număr de trei, ţinînd seamă de alurile caracteristice posibile ale curbelor respective notate cu *I*, *II*, *III*, (fig. 2).

În fiecare variantă de regularizare, cunoscînd cotele acumulării şi debitele regularizate, putem calcula puterile centralei şi energiile produse, obţinînd în final energia produsă pe întreaga perioadă, în fiecare variantă de corelaţie impusă.

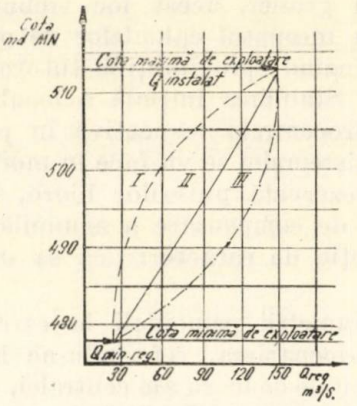


Fig. 2. Variantele de bază ale corelaţiilor $Q_{reg} = f(\downarrow lac)$.

Corelaţia optimă va fi dată de varianta care va conduce la o producţie maximă de energie.

Avînd determinată corelaţia energetică optimă între cotele acumulării şi debitele regularizate putem trece la stabilirea distribuţiei optime a stocului pe fluxuri de folosinţe. După cum am subliniat anterior, în acest scop vom folosi criteriul aportului maxim adus venitului naţional.

Vom exemplifica în cele ce urmează modul cum se aplică acest criteriu în cazul optimizării repartiţiei stocului între folosinţa energetică şi nevoile de debite pentru irigaţii. Cunoscînd debitele specifice necesare irigării, funcţie de caracterul hidrologic al anului respectiv, putem construi pentru diferite suprafeţe cu culturi irigate graficul debitelor medii lunare necesare (eventual, prin medie ponderată, a debitelor sezoniere, în cazul cînd regularizarea energetică a fost sezonieră).

Impunînd, în graficul de exploatare a acumulării pentru varianta de corelaţie energetică optimă, asigurarea acestor debite în lunile respective, vom corecta corespunzător acest grafic pentru fiecare variantă de suprafaţă irigată, recalculînd şi producţiile de energie.

Vom fi în măsură în acest fel să stabilim o corelaţie

$$W = f(s) \qquad (1)$$

între energia totală produsă (W) şi suprafaţa impusă a fi irigată (s). Corelaţia are, grafic, alura indicată în figura 3, în care $s_{min.}$ este suprafaţa

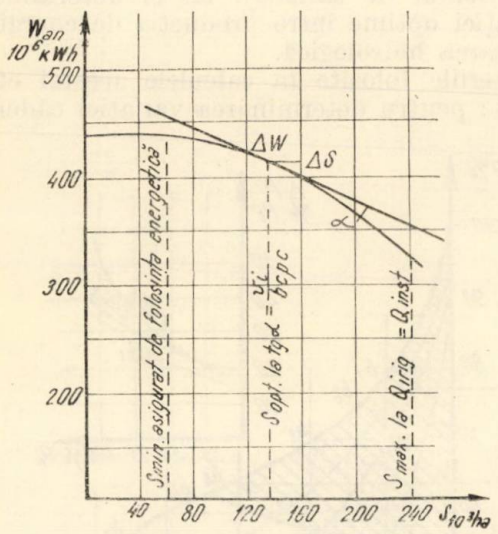


Fig. 3. Corelaţia dintre producţia de energie şi suprafeţele irigate.

irigată ce se asigură în cazul utilizării pur energetice a acumulării prin debitele cerute în acest scop, iar $s_{max.}$ corespunde funcţionării centralei în lunile de irigaţie intensă, în regim de bază, adică la Q_i.

Alura descrescătoare a curbei rezultă din faptul că utilizarea intensivă a acumulării în lunile de vară determină funcţionarea centralei cu căderi minime în restul timpului, şi în special în perioada de iarnă.

Aportul adus venitului naţional de cele două folosinţe ale stocului poate fi exprimat prin următoarele relaţii :

a) pentru folosinţa energetică se reduce la economia de combustibil obţinută în CTE (presupunînd că reducerile puterilor disponibile ale CHE pot fi acoperite, fără investiţii suplimentare, de către celelalte centrale din sistem) :

$$V_e = W b_c p_c, \qquad (2)$$

în care :

W reprezintă energia electrică produsă (kWh);
b_c — consumul specific de combustibil (kg c.c./kWh) în CTE ce ar trebui să acopere zona din graficul de sarcină al sistemului în care lucrează hidrocentrala;
p_c — preţul de cost al combustibilului marginal (lei/kg c.c.);

b) pentru folosinţa de irigaţii :

$$V_i = s v_i, \qquad (3)$$

în care

s reprezintă suprafaţa irigată (ha);
v_i — venitul suplimentar adus de irigarea suprafeţei unitare (lei/ha).

Cheltuielile anuale în instalaţiile amenajării hidroenergetice fiind practic constante, indiferent de modul cum se repartizează stocul pe folosinţe, nu vor putea influenţa calculele de optimizare şi nu vor fi introduse în aceste calcule.

Rezultă că aportul global adus de cele două folosinţe venitului naţional este exprimat prin relaţia :

$$V = V_e + V_i = W b_c p_c + s v_i. \qquad (4)$$

Condiţia de optim este dată de maximul funcţiei în raport cu variabila independentă s, deci de valorile ce vor anula derivata acestei funcţii :

$$\frac{dV}{ds} = b_c p_c \frac{dw}{ds} + v_i = 0. \qquad (5)$$

Rezultă că suprafaţa optimă de irigat este dată de relaţia :

$$\frac{dW}{ds} = -\frac{V_i}{b_c p_c}. \qquad (6)$$

În prima parte a egalităţii apare expresia tangentei la curba reprezentată în figura 3; suprafaţa optimă va corespunde punctului de pe această curbă la care se realizează, grafic, tangenţa ei cu dreapta de pantă $-\frac{V_i}{b_c p_c}$.

O aproximaţie grosieră introdusă în calcule este constanţa venitului specific v_i adus de irigarea suprafeţei unitare. În realitate, acest venit specific variază foarte mult de la an la an, funcţie de volumul de precipitaţii şi de perioada la care ele se produc.

In extremis, acest venit echivalează în anii extrem de secetoşi, care fără irigare ar compromite integral recolta, cu valoarea întreagă a producţiei cerealiere, pentru a scădea la zero în anii ploioşi , care nu necesită irigare.

Eliminarea acestei aproximări se face prin repetarea calculelor de optimizare pentru anii caracteristici. În principiu, aceste calcule conduc la soluţiile reprezentate grafic în figura 4. Anul ploios va fi nesemnificativ, deoarece debitele eliberate aval, din considerente energetice, vor acoperi nevoile minime de apă pentru irigarea unor suprafeţe suficient de mari. Anul secetos va fi cel care va dicta suprafeţele optime de irigat, deoarece tendinţele contradictorii ale celor două folosinţe (în privinţa eliberării debitelor acumulate în sezonul de vară) şi valoarea ridicată a mărimii v_i definesc mult mai concludent domeniul optim.

Rezultatele calculelor din această etapă se vor concretiza într-un grafic dispecer tip Moro-

zov (fig. 5) care va impune restricţiile de cote şi debite necesare irigării suprafeţei optime rezultate din calculele pentru anul secetos şi în

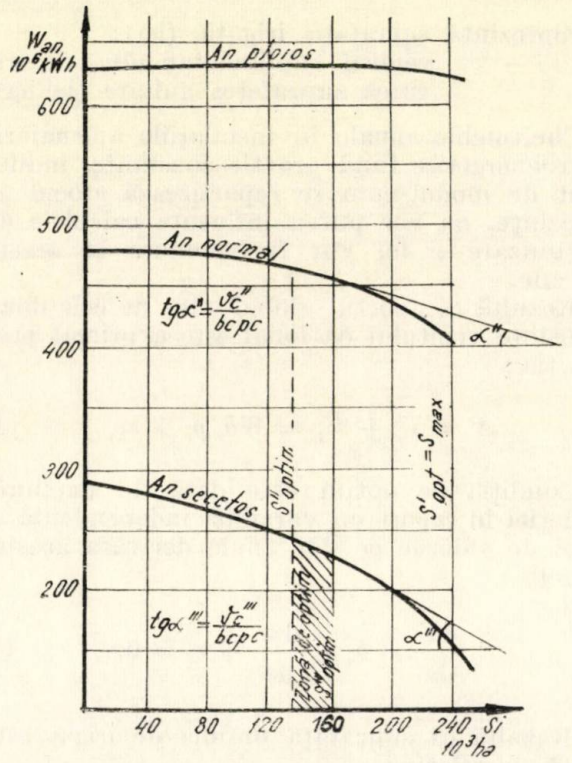


Fig. 4. Analiza suprafeţelor optime de irigat pentru anii caracteristici.

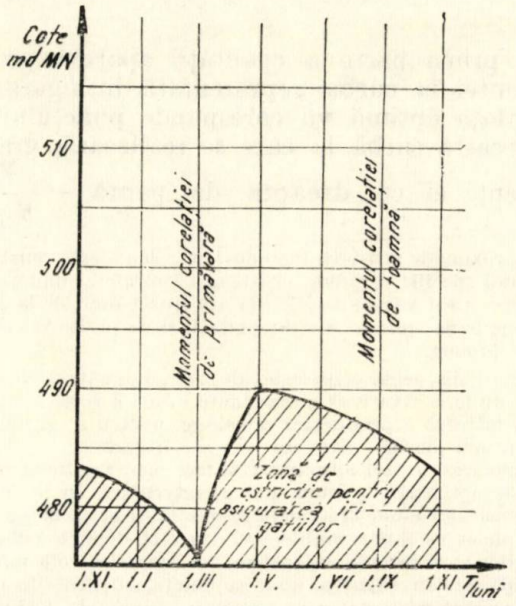


Fig. 5. Grafic de exploatare cu zonă de restricţie pentru irigaţii.

corelaţiile optime dintre cotele acumulării şi debitele regularizate ce se vor utiliza în afara domeniului de restricţie.

4.2. *Optimizarea regimului anual de exploatare a amenajărilor hidroenergetice.* Obiectivul principal al acestei etape este stabilirea domeniului optim în care vor varia regimurile de exploatare a amenajării, funcţie de caracterul hidrologic al anului de plan (regim definit atît prin debitele şi căderile medii de lucru ale centralei, cît şi prin locul ei în gama de puteri a graficului de sarcină), cît şi determinarea corelaţiei optime între producţia de energie şi asigurarea hidrologică.

Criteriile folosite în calculele acestei etape vor fi : pentru determinarea variaţiei căderilor

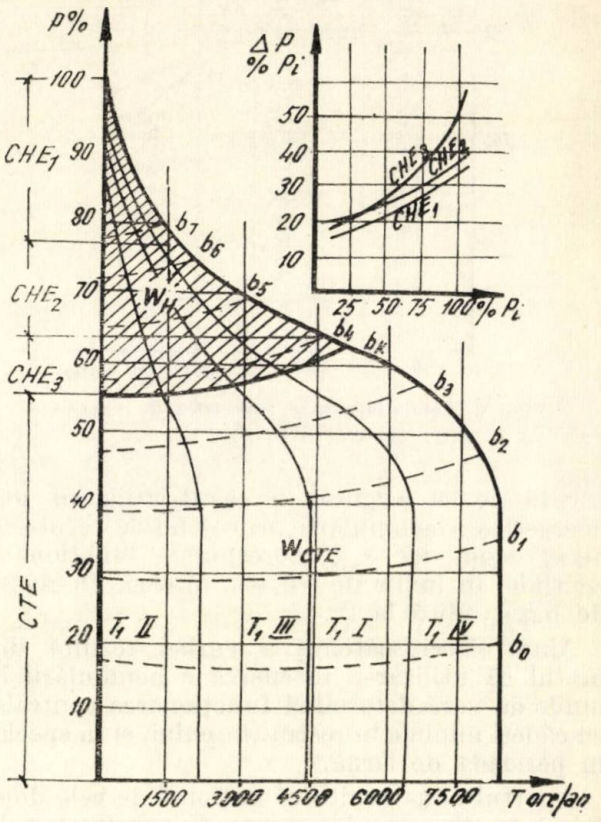


Fig. 6. Optimizarea distribuţiei trimestriale a energiei asigurate la CHE şi încadrarea lor în graficul de puteri al sistemului.

şi debitelor — criteriul B_{min}, pentru determinarea gamei de puteri în care va funcţiona centrala — criteriul ΔP_{min}.

Caracteristic etapei este desfăşurarea în paralel a calculelor pentru toate centralele hidroelectrice cu acumulare interconectate sistemului.

Cu ajutorul curbei clasate a puterilor sistemului, ridicată în baza curbelor de sarcină caracteristice, vom determina distribuţia optimă pe trimestre (sau luni) a energiei anuale a acestor centrale şi încadrarea lor optimă în graficul de sarcină al sistemului, pentru fiecare an caracteristic în parte.

În acest scop, pe curba clasată preliminată a puterilor sistemului (fig. 6), care prin integrare

ne dă energia necesară sistemului în anul de plan, vom trasa curbele de izoconsum specific de combustibil în CTE. Aceste curbe se trasează cunoscînd în principiu modul cum va varia structura sistemului în cursul anului, funcţie de reparaţiile planificate şi unităţile energetice noi ce vor intra în funcţiune.

Alura acestor curbe, b = const., indicată în figura 6, este datorată în principal următorilor factori:

— oprirea termoficărilor urbane şi reducerea consumului de căldură pentru industrie în sezonul de vară;

— scoaterea în acelaşi sezon, pentru reparaţie, a grupurilor de mare putere, cu caracteristici superioare de consum specific;

— punerea în funcţiune în cursul anului a noi mari unităţi energetice cu consumuri specifice reduse.

Toţi aceşti factori acţionează în sensul reducerii consumului specific de combustibil pentru aceeaşi bandă de puteri în perioadele de iarnă şi pe măsura dezvoltării sistemului energetic. Curba clasată a puterilor sistemului, construită prin însumarea celor trimestriale (sau lunare), cu evidenţierea acestor delimitări, va folosi atît la repartiţia energiei anuale a hidrocentralelor cu acumulări pe trimestrele (lunile) anului, cît şi la stabilirea locului acestora în acoperirea graficului de sarcină.

Pentru repartiţia trimestrială (lunară) a energiei hidrocentralelor vom folosi criteriul B_{min}, care cere ca limita inferioară a zonei ocupate de acestea să coincidă cu o curbă de b = const.

Demonstraţia este simplă: în cazul în care nu se realizează această condiţie, din proprietăţile funcţiilor continue rezultă că oricînd această limită inferioară a puterilor hidro va admite o valoare medie b_k faţă de care suprafeţele (deci energiile) afectate de $b_1 > b_k$ şi $b_2 < b_k$ vor fi egale; vom nota aceste energii cu W_k. Criteriul de optimizare ales va impune un minim pentru consumul de combustibil aferent acestor zone, deci un minim pentru funcţia:

$$B = W_k (b_1 - b_2) \qquad (7)$$

Acest minim se obţine în mod evident pentru $b_1 = b_2 = b_k$, ceea ce era de demonstrat.

Pentru stabilirea gamei de puteri în care va lucra fiecare hidrocentrală, în această etapă de calcul putem folosi calitativ criteriul ΔP_{min}. Acest criteriu va cere ca de la vîrful graficului spre limita inferioară, rezervată puterilor hidro, să fie repartizate, funcţie de energiile anuale disponibile, centralele hidroelectrice în ordinea creşterii caracteristicilor proprii de pierderi globale. Această repartizare a centralelor în acoperirea graficului de sarcină al sistemului va determina încărcarea maximă a celor cu pierderi globale minime şi încărcarea redusă a celor cu pierderi mari.

Se impune concluzia că puterile de rezervă necesare sistemului trebuie menţinute, în special în orele de vîrf, în CHE cu caracteristici de pierderi globale defavorabile.

În acest mod, pe curba anuală clasată a puterilor sistemului vom avea determinate pe trimestre (luni) gama de puteri în care va lucra fiecare hidrocentrală cu acumulare şi energia medie pe care o va livra. Cu aceste elemente putem determina debitele medii ce trebuie regularizate pe trimestre (luni) pentru satisfacerea criteriilor de optimizare impuse.

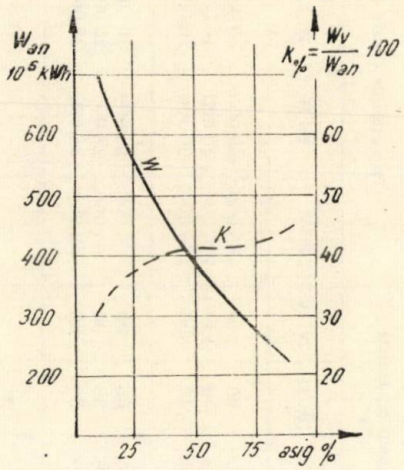


Fig. 7. Corelaţii optime între indicatorii sintetici de plan şi asigurarea hidrologică.

Calculele se repetă, reamintim, pentru trei ipoteze hidrologice medii (an secetos, an normal, an ploios), iar rezultatele lor se pot consemna într-o tabelă, de forma celei alăturate, în care am presupus că am urmărit o optimizare cu distribuţie trimestrială. În fiecare rubrică este indicat domeniul optim de variaţie a mărimii respective, funcţie de caracteristica hidrologică a anului de plan.

În baza datelor obţinute în această etapă se pot determina şi indicatori de plan sintetici expresivi, în locul celor folosiţi în prezent în mod cu totul arbitrar (mă refer în special la planificarea producţiilor anuale de energie fără nici o bază reală de aproximare).

Astfel de indicatori (fig. 7) ar putea fi corelaţia optimă între producţia de energie a centralei şi asigurarea hidrologică a anului de plan — indicator cantitativ — şi dintre procentul energiei de vîrf şi această asigurare — ca indicator calitativ. Asemenea sarcini de plan sînt mult mai mobilizatoare pentru antrenarea personalului de exploatare în folosirea cu eficienţă maximă a instalaţiilor amenajării.

4.3. *Optimizarea regimului zilnic de încărcare a centralelor hidroelectrice.* Obiectivul principal al acestei etape este determinarea încărcării orare optime a fiecărei hidrocentrale ce participă la acoperirea graficului de sarcină al sistemului.

Criteriile de calcul folosite sînt B_{min} şi ΔP_{min}, ambele introduse în formulări matematice ce conduc la rezultate cantitative.

Tabela 1

Domeniile optime de variaţie a regimului de exploatare a centralelor hidroelectrice, funcţie de caracteristica hidrologică a anului de plan

Centrala	Gama de puteri în care va lucra, MW				Debitele medii regularizate, m^3/s				Producţiile de energie, MWh				Total an
	Tr. I	Tr. II	Tr. III	Tr. IV	Tr. I.	Tr. II	Tr. III	Tr. IV	Tr. I	Tr. II	Tr. III	Tr. IV	
CHE_1 $P_i = 200$ MW	3 200 — 3 000	3 000 — 2 850	3 100 — 2 950	3 300 — 3 100	140	90	90	140	100 000	60 000	60 000	88 000	308 000
	3 200 — 3 000	3 000 — 2 900	3 100 — 3 000	3 300 — 3 100	140	70	70	140	100 000	40 000	40 000	88 000	268 000
	3 200 — 3 050	3 000 — 2 950	3 100 — 3 050	3 300 — 3 150	90	40	40	90	76 000	20 500	20 000	76 000	192 500
CHE_2 $P_i = 180$ MW	3 000 — 2 850	2 850 — 2 750	2 950 — 2 850	3 100 — 2 950	90	60	60	90	95 000	55 000	50 000	85 000	285 000
	3 000 — 2 850	2 900 — 2 850	3 000 — 2 950	3 100 — 2 950	90	30	30	90	95 000	28 000	25 000	85 000	233 000
	3 050 — 2 950	2 950 — 2 900	3 050 — 3 000	3 150 — 3 050	60	30	30	60	62 000	28 000	25 000	60 000	175 000
CHE_3 $P_i = 120$ MW	— — —	— — —	— — —	— — —	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	— — —	— — —	— — —	— — —	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	— — —	— — —	— — —	— — —	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Notă: Cele trei rînduri de valori ale parametrilor din fiecare rubrică se referă, în ordine, la anii cu asigurări de 25 %, 50 % şi 75 %.

Aplicarea criteriului de optimizare B_{min} se face în cadrul metodelor generale de repartiţie optimă a sarcinii sistemului pe centralele componente, metode a căror expunere nu face obiectul prezentului articol, ele fiind larg dezbătute în literatura de specialitate şi în paginile revistei „Energetica" [2], [3], [6], [7], [8]. Introducerea celui de-al doilea criteriu de optimizare, specific CHE, — criteriul ΔP_{min}, se poate face uşor în cadrul unei metode generale, care să permită aplicarea lui nesimultană cu criteriul B_{min}, deoarece folosirea lor concomitentă complică foarte mult aparatul matematic necesar rezolvării problemei. O astfel de metodă generală este propusă de dr. ing. V. Romert [8], sub denumirea de metodă SPED, bazată pe rezolvarea repartiţiei optime a sarcinii sistemului pe centralele componente, prin programări dinamice. Avantajul constă în faptul că în baza determinării strategiei puterilor pe fiecare centrală termoelectrică şi a strategiei energiilor pe ansamblul acestor centrale se delimitează zona rezervată hidrocentralelor, în acoperirea graficului de sarcină al sistemului, determinîndu-se puterile orare ce trebuie acoperite de acestea. Puterea fiecărei hidrocentrale P_H^x nu se va mai calcula în baza relaţiei de proporţionalitate dintre energia zilnică impusă acesteia (R_j) şi energia totală a hidrocentralelor (P_H), conform relaţiei :

$$P_j^x = P_H^x \frac{R_j}{P_H}, \tag{8}$$

ci în baza criteriului ΔP_{min}.

Problema revine la a determina minimul funcţiei :

$$\Delta P_H = \sum_{x=1}^{24} \sum_{j=1}^{m} \Delta P_j^x (P_j^x), \tag{9}$$

respectînd condiţiile de energie zilnică impusă fiecărei centrale :

$$\sum_{x=1}^{24} P_j^x = R_j \tag{10}$$

şi condiţia de acoperire a puterii rezervată orar hidrocentralelor,

$$\sum_{j=1}^{m} P_j^x = P_H^x, \tag{11}$$

în care am notat :

ΔP_H — pierderi de putere globale ale tuturor centralelor hidroelectrice funcţionînd în paralel ;
ΔP_j — pierderile de putere ale centralei j ;
x — timpul, respectiv intervalele orare de sarcină constantă ;
m — numărul centralelor hidroelectrice.

Pentru rezolvarea problemei este necesar să cunoaştem caracteristicile de pierderi globale

ale fiecărei centrale, adică funcțiile $\Delta P_j = f(P_j)$, fie în expresie analitică, fie grafic. Determinarea minimului funcției ΔP_H se poate face prin oricare dintre metodele generale de repartiție optimă a sarcinii în sistemele energetice, întrucît problema este strict similară, de preferat fiind a se continua rezolvarea ei pe calea programării dinamice.

Cu această etapă, problema optimizării regimului de exploatare a centralelor hidroelectrice conectate la sistem își găsește rezolvarea finală, rezultatele etapelor anterioare obținute sub formă de domenii de variație a acestor regimuri definindu-se în soluții optime univoce.

5. Considerații critice asupra unor metode propuse sau folosite în optimizarea exploatării amenajărilor hidroenergetice. Subliniind de la început lipsa unei tratări unitare, în literatura noastră de specialitate, a problemelor legate de optimizarea exploatării centralelor hidroelectrice încadrate în mari sisteme energetice, ne vom referi în cele ce urmează la cîteva metode de circulație mai largă, folosite în rezolvarea parțială a acestor probleme.

În efectuarea regularizărilor superanuale și anuale este larg răspîndită metoda „graficului dispecer". Prin astfel de grafice se stabilesc numai condițiile limită în care regularizarea trebuie să aibă loc, neefectuîndu-se o optimizare în afara acestor limite. Căutînd a determina corelația optimă dintre cotele acumulării și debitele regularizate, în afara zonelor de restricții, ne apropiem de o regularizare a stocului care satisface cerința de optim economic (producția maximă de energie).

Distribuția sezonieră (lunară) a stocului anual se efectuează în prezent după principii calitative, respectiv prin proporționalitatea volumelor (energiilor) regularizate cu puterile de vîrf ale perioadelor respective [5], [9], [10], urmărindu-se în special asigurarea unor puteri și energii cît mai mari pentru sezonul de iarnă. Această proporționalitate nu poate fi un criteriu de optim economic, ci cel mult o condiție limită ce trebuie satisfăcută în cazul sistemelor deficitare. Optimizarea acestor distribuții trebuie făcută în baza criteriului $B_{min.}$ și $\Delta P_{min.}$, așa cum s-a încercat a se da o soluție în prezentul articol (paragraf 4.3.), dar în orice caz prin luarea în considerație a tuturor centralelor cu acumulare care vor conlucra la acoperirea sarcinii sistemului.

O ultimă grupă de metode care trebuie menționată este cea privitoare la repartiția optimă a puterilor active pe centralele unui sistem energetic. O parte din aceste metode, folosind pentru minimizarea consumului de combustibil principiul egalizării creșterilor relative ale acestui consum pe fiecare centrală în parte, introduc pentru centralele hidroelectrice niște coeficienți de echivalare a consumului de apă cu consumul de combustibil, coeficienți ce se determină prin condițiile de debite medii impuse acestora [2], [3], [4].

Nu volumul de apă minim consumat (sau orice echivalent de calcul) ne conduce la un optim economic, ci consumul minim de energie hidraulică.

Alte metode de repartiție optimă a puterilor active pe centralele sistemului efectuează o distribuție a sarcinii rezervate hidrocentralelor, proporțională cu energiile zilnice impuse fiecăreia [8], ceea ce de asemenea nu poate constitui un criteriu economic de optimizare.

În general, metodele propuse pînă în prezent pentru repartiția optimă a sarcinii sistemului energetic pe centralele componente nu au constituit un pas înainte pe linia optimizării exploatării centralelor hidroelectrice, nefolosind criterii adecvate acestui scop.

Considerăm că folosirea criteriului ΔP_{min} oferă acestor probleme de optimizare o bază corespunzătoare de rezolvare.

Concluzii. Evidențiind factorii ce determină eficiența economică a exploatării centralelor hidroelectrice am încercat să stabilim criteriile de optimizare ale acestui proces și să propunem o metodă unitară de calcul, subliniindu-i unele avantaje față de metodele curente folosite la noi. Cadrul restrîns al unui articol nu a permis expunerea detaliată și exemplificarea cifrică a metodei și etapelor de calcul propuse. Acest mod de prezentare a problemelor va putea evidenția însă amploarea lor și necesitatea unei metode unitare în rezolvare, deși rămîne tributară rigurozității demonstrării unor afirmații.

Ca importanță economică practică, arătăm că folosirea criteriului $\Delta P_{min.}$ în repartiția sarcinii pe hidrocentralele cascadei de pe rîul Bistrița a pus în evidență în intervalul 21—26 martie 1966 o economie de energie de ordinul a 3% din producția cascadei pe perioada respectivă.

Importanța generală a unei metode unitare de calcul a regimurilor optime de exploatare a centralelor hidroelectrice crește în condițiile în care sistemul nostru energetic primește în componența sa amenajări hidroenergetice cu mari acumulări compensatoare (după CHE „V. I. Lenin" — Bicaz, CHE „Gh. Gheorghiu-Dej" — Argeș și, în curînd, CHE Lotru), unele cu folosințe complexe impuse acestor acumulări.

Bibliografie

[1] Dedu, St. *Determinarea regimurilor economice de funcționare la o centrală hidroelectrică echipată cu grupuri diferite.* Energetica 14 (1966), nr. 6.

[2] Markovici, I. M. *Sisteme energetice. Regimuri de funcționare.* Editura Tehnică, 1960 (traducere din limba rusă).

[3] Kirchmayer, L. K. *Economic control of interconected systems.* John Wiley & Sons, New York, 1959.
[4] Săvulescu, Cr., *Metodă analitică de determinare a coeficienților de echivalare a centralelor hidroelectrice în calculele de repartiție optimă a puterilor.* Energetica 14 (1966), nr. 3.
[5] Morosov, A. A. *Utilizarea energiei apelor.* Editura Tehnică, 1952 (traducere din limba rusă).
[6] Chirculescu, N. *Contribuții la teoria optimizării regimurilor de funcționare a sistemelor energetice*, partea I. Energetica 12 (1964), nr. 10.
[7] Romert, V. *Determinarea regimului optim de funcționare a sistemelor energetice.* Energetica 14 (1966), nr. 6.
[8] Romert, V. *O metodă nouă pentru determinarea repartiției optime a puterilor active pe centralele unui sistem energetic.* Energetica 15 (1967) , nr. 5.
[9] * * * *Proiectul tehnic al UHE* Argeș. ISPE, 1959.
[10] * * * *Studiu privind exploatarea lacului UHE „V. I. Lenin"-Bicaz.* ISPE, 1964.

(Articol intrat în redacție la 20 mai 1968)

—— o ——

Dezvoltarea, exploatarea și protecția sistemelor electroenergetice

Prof. dr. ing. Gerhard Hosemann *)

Revista „Energetica" publică mai jos traducerea integrală a unui articol apărut în numărul festiv al revistei „Elektrotechnische Zeitschrift A" din 13.09. 1968, consacrat aniversării a 75 ani de la înființarea Asociației electrotehnicienilor germani (VDE). În articol se face o prezentare sinoptică a problemelor actuale ale electroenergeticii marilor sisteme, în care autorul, personalitate de prestigiu a domeniului, pune în evidență, conform concepției sale personale, unele aspecte încă insuficient clarificate în proiectarea și exploatarea marilor rețele și spre a căror aprofundare ar trebui să se concentreze în continuare eforturile cercetărilor din diferite țări.

Aceasta cu atît mai mult, cu cît pînă în prezent, în țara noastră, a existat o preocupare susținută pentru planificarea dezvoltării sistemului energetic. Astfel pe baza principalilor indicatori de dezvoltare a economiei naționale, cu programele deja întocmite se determină volumul producției totale de energie electrică ca și curbele de sarcină ale sistemului în perspectivă. De asemenea, pentru dezvoltarea centralelor electrice se aplică un program tip, bazat pe programarea liniară, din care rezultă caracteristicile centralelor optime de realizat în etapa studiată.

În sfîrșit, pentru structura rețelelor electrice de transport și distribuție există rezolvări folosind metodele simulării și ale programării liniare, în cursul acestui an urmînd a fi, de asemenea, introduse în folosirea curentă.

În afara acestor domenii principale ce determină structura unui sistem, există o serie de programe de folosință curentă privind regimurile de funcționare și optimizare a sistemului, stabilitatea statică și dinamică, siguranța în funcționare, calculul curenților de scurtcircuit, determinarea puterii de rezervă etc.

În funcție de existența unor calculatoare de mare capacitate, urmează a se stabili în continuare îmbinarea tuturor acestor rezolvări în cadrul unor programe unitare de ansamblu.

Comitetul de redacție

Probleme actuale ale rețelelor electrice. În anul 1891 s-a realizat primul transport de energie electrică în curent alternativ între Lauffen și Frankfurt. Începînd cu al patrulea deceniu al secolului nostru, s-a ajuns la situația în care practic oricare locuitor să poată fi alimentat în orice moment și nestînjenit din rețeaua germană de alimentare cu energie electrică. În prezent, problemele rețelelor de joasă și medie tensiune constau, deci, mai puțin în racordarea de noi consumatori și în măsură mult mai mare în asigurarea alimentării consumatorilor existenți cu puteri și energii sporite. A evoluat și rolul rețelelor de înaltă tensiune. Din rețele de transport, a căror stabilitate trebuie urmărită, s-au realizat rețele interconectate, la care, pe prim plan, se situează posibilitatea de a face față puterilor de scurtcircuit și siguranței în alimentare și care în viitor vor prelua rolul de rețele de distribuție. La aceste rețele de distribuție, pe lîngă economicitate, se are în vedere cu preponderență posibilitatea de extindere. Este un avantaj deosebit al sistemelor de alimentare cu energie electrică faptul că acestea se pot adapta acestor condiții evolutive mai ușor decît alte sisteme de alimentare cu energie, printr-o planificare și exploatare judicioasă, conform strategiei descrise în cele ce urmează.

Planificarea dezvoltării marilor sisteme electroenergetice. Întrucît marile sisteme electroenergetice trebuie concepute și exploatate conform unui optimum economic general, nu mai este admisibilă planificarea separată a dezvoltării centralelor de cea a rețelelor.

Orice planificare se bazează pe o prognoză a sarcinilor de vîrf, a circulațiilor de puteri și a curbelor anuale de sarcină [25]. Durata mare de viață a mijloacelor de bază necesită o planificare de lungă perspectivă, astfel încît să poată fi apreciate și realizările viitoare justificate tehnic și economic, ca, de exemplu, noi sisteme de răcire pentru centralele termoelectrice mari cu economie de apă proaspătă, extinderea centralelor nuclearoelectrice, precum și dezvoltarea încălzitorului electric și a instalațiilor de încălzire electrică centrală și climatizare.

Costurile specifice ale centralelor sînt în mod obișnuit de cîteva ori mai mari decît ale rețelei de interconexiune, așa încît planificarea centralelor are precădere, costurile rețelei intervenind ca un element de corecție asupra costurilor centralelor. Acest lucru este arătat în figura 1, care este divizată în linii de la *1* la *7* și coloane de la *A* la *F*.

Coloanele *A* și *E*, precum și *B* și *D* au corespunzător o structură similară. Programele posibile de construcție pentru centrale (cîmpul A_2) pot fi complet elaborate prin diagrame sarcină-termen. Influențele corespunzătoare asupra rețelei (cîmpul E_2) sînt și funcție de circulațiile de puteri reactive, de menținerea nivelelor de tensiune în noduri, de puterile de scurtcircuit, precum și de temperaturile realizate în cursul anului, și deci sînt mai dificil de analizat. Prețurile de cost (coloanele *B* și *D*) se determină printr-o prognoză a circulațiilor de puteri pentru o zi caracteristică de vîrf. Din această cauză este esențial ca încărcarea centralelor și a elementelor rețelei să fie determinate conform acelorași principii (cîmpurile B_3 și D_3) de care se va ține cont în exploatare, spre a se evita erori suplimentare, de exemplu la stabilirea duratei de utilizare. Se pot folosi, astfel, cu succes și pentru calcule de planificare, programele de calcul care au fost elaborate pentru calcule de exploatare. Discutabile sînt determinările costurilor întreruperilor în alimentare (coloana *F* și în special cîmpul F_6) în centrale și rețele. De îndată ce consumatorii rămîn neali-

*) Prof. dr. ing. G. Hosemann este profesor la Școala Politehnică din Darmstadt (R. F. a Germaniei) și director al Institutului pentru alimentarea cu energie electrică din aceeași localitate.

mentaţi, energia nelivrată [12] trebuie neapărat evaluată la valori mai ridicate decît cea a energiei ce ar putea fi preluată de la sistemele învecinate. Dacă asemenea consideraţii sînt puse sub semn de întrebare, în locul coloanei F se pot folosi asigurările obişnuite pentru puterea de rezervă [18], [23] la centrale şi „principiul avariei simple" [6], [17] pentru părţile de reţea. Aplicarea aceluiaşi principiu la centrale ar conduce la rezultate eronate [2], [22] datorită probabilităţii de avariere sensibil mai ridicate [8], [23]. La determinarea raţii asupra numărului minim necesar de informaţii în regim normal şi de avarie, cu ajutorul cărora să se poată calcula, cu suficientă exactitate [5], toate mărimile importante pentru exploatare. Calculatoarele de procese hotărăsc, de asemenea, ordinea succesiunii problemelor de rezolvat [24].

În tabela 1 sînt expuse trei programe de calcul de importanţă deosebită. Se observă că aceste programe urmează a fi folosite în mod eficace şi multilateral în exploatarea viitoare a reţelei. Există deci, contrar unor concepţii anterioare, un

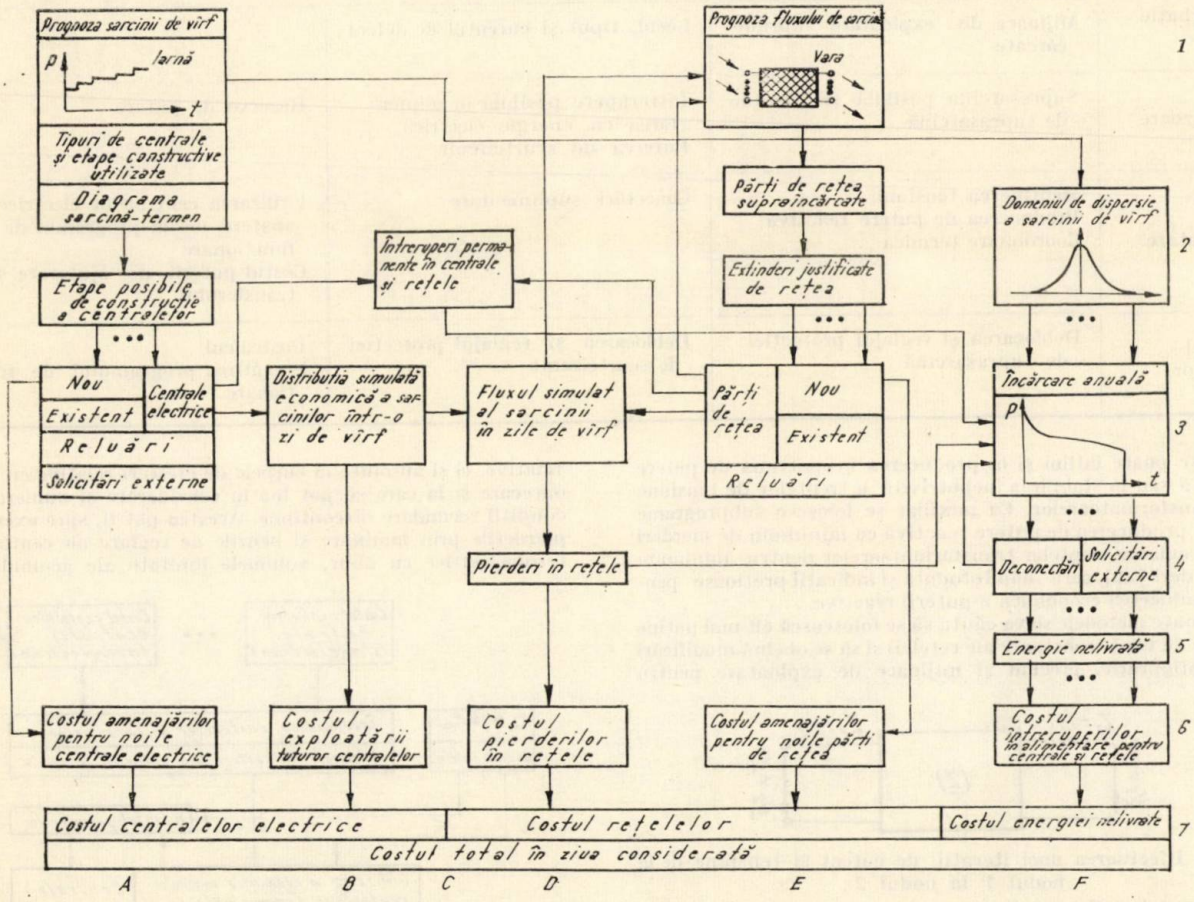


Fig. 1. Schemă pentru planificarea dezvoltării marilor sisteme electroenergetice.

avariilor persistente (cîmpul C_2) se va presupune că toate evenimentele conducînd la avarii sînt independente unele de altele. Dacă dimpotrivă, la o ieşire din funcţiune a unei surse, o a doua sursă este deconectată şi ea la suprasarcină sau dacă datorită lipsei de apă într-o perioadă secetoasă sînt afectate concomitent mai multe centrale hidroelectrice, atunci aceste extinderi trebuie considerate ca un eveniment unic.

Cele expuse sumar în schema din figura 1 pot fi detaliate şi aprofundate pentru a lua în considerare de exemplu autoreglarea reţelei (cîmpul F_3), influenţa condiţiilor atmosferice (cîmpurile A_1 şi F_2) etc. Structura de bază a schemei permite cunoaşterea direcţiilor spre care trebuie să se îndrepte cercetările de planificare moderne.

Exploatarea marilor sisteme electroenergetice. Pentru a se atinge optimul căutat, din punct de vedere al economicităţii şi al siguranţei în alimentare, în exploatarea marilor sisteme electroenergetice trebuie valorificate un număr mereu crescînd de valori măsurate şi alte informaţii. Marile centrale nucleare-electrice se proiectează şi echipează în prezent de la bun început cu calculatoare de procese şi numeroase dispozitive auxiliare necesare. În sistemele interconectate, instalarea de calculatoare electronice de procese este legată de costuri importante pentru obţinerea şi transmisia în reţea a datelor necesare. În legătură cu aceasta au fost expuse [14] considerinteres economic în scurtarea timpului de calcul şi micşorarea necesităţilor de acumulare a datelor în memorie.

Din cauza legăturilor matematice slabe, procedeele cu eliminare ordonată sînt superioare tuturor celorlalte procedee cunoscute [15], în cazul programelor de circulaţii de puteri (în partea lor liniară) şi în programele de calcule de scurtcircuit [7], [13]. Ca strategie de eliminare, principiul constînd în rezolvarea cu precădere a nodurilor cu cel mai mic număr de ramuri aferente [13] a înlocuit procedeele folosite înainte [9]. De aceea, în procesul de eliminare, o matrice de admitanţă cu n coloane $|Y| = |B| \cdot |C|$ trebuie descompusă în două matrice-triunghi $|B|$ şi $|C|$, unde matricea triunghi $|C|$ poate fi privită ca rezultat al transfigurării stea-poligon a n-1 noduri şi inversa matricei-triunghi $|B|$ ca rezultat al aruncării a n-1 curenţi de noduri.

Datorită faptului că în reţele interconectate impedanţele longitudinale sînt în general mici, curenţii de noduri se influenţează reciproc în mică măsură, în timp ce tensiunile în noduri se influenţează reciproc puternic. Acesta este temeiul convergenţei rapide la care se ajunge în paşi iterativi [4] de circulaţii de puteri, dacă se corectează curenţii de noduri conform figurii 2 şi nu tensiunile în noduri, pentru a se realiza puterile aparente complexe prestabilite.

Drept criteriu pentru terminarea procesului de iteraţie trebuie folosită abaterea puterii aparente. O convergenţă

Tabela 1

Utilizarea a trei programe de calcul pentru exploatarea marilor sisteme electroenergetice

Rangul în calculatorul de procese	Programe de calcul pentru:		
	Calculul plusului de sarcină	Calculul curenților de scurtcircuit	Calculul distribuției optime a sarcinii
	Prin programul de calcul se determină:		
Perturbație	Mijloace de exploatare supraîncărcate	Locul, tipul și curentul de defect	—
Avertizoare	Suprasarcina posibilă și cascade de suprasarcină	Întrerupere posibilă în alimentarea cu energie electrică, Puterea de scurtcircuit	Rezerva de putere
Exploatare	Menținerea tensiunii Producerea de putere reactivă Coordonare termică	Conectări suplimentare	Utilizarea centralelor electrice la abateri de la programul de funcționare Costul puterii de ajutorare și al transferului
Control ulterior	Deblocarea și reglajul protecției de suprasarcină	Deblocarea și reglajul protecției de scurtcircuit	Postcalcul Pregătirea programului de funcționare

slabă se poate întîlni și la producerea neoportună de putere reactivă sau la stabilirea nepotrivită a treptelor de tensiune ale transformatoarelor. Ca auxiliar se folosesc subprograme pentru producerea de putere reactivă cu minimum de pierderi [3] și reglarea treptelor transformatoarelor pentru minimum de pierderi [26], care dau totodată și indicații prețioase pentru producerea economică a puterii reactive.

La toate metodele se va căuta să se folosească cît mai puține calcule de bază (constante ale rețelei) și să se obțină modificări de configurație, precum și mijloace de exploatare pentru

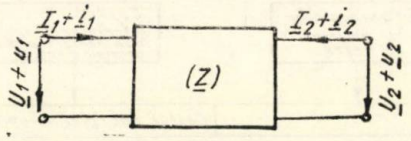


Fig. 2. Efectuarea unei iterații de curent și tensiune de la nodul 1 la nodul 2:

Mărimi de bază $\underline{U}, \underline{I}$; corecții $\underline{u}, \underline{i}$

$$\left.\begin{aligned} \underline{u}_1 &= \underline{Z}_{11}\underline{i}_1 + \underline{Z}_{12}\underline{i}_2 \\ \underline{u}_2 &= \underline{Z}_{21}\underline{i}_1 + \underline{Z}_{22}\underline{i}_2 \\ 0 &= \underline{U}_2\underline{i}_2^* + \underline{u}_2\underline{I}_2^* \end{aligned}\right\} \quad |\underline{U}| \gg |\underline{Z}\underline{I}|$$

Trei ecuații cu patru necunoscute, u_1, u_2, i_1, i_2, din care rezultă:

$$\text{iterația de curent} \quad \left|\frac{\underline{i}_2}{\underline{i}_1}\right| = \left|\frac{-\underline{Z}_{21}}{\underline{Z}_{22} + \dfrac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2^*}\cdot\dfrac{\underline{i}_2^*}{\underline{i}_2}}\right| \approx \left|\frac{\underline{Z}_{21}\underline{I}_2}{\underline{U}_2}\right| \ll 1$$

$$\text{iterația de tensiune} \quad \left|\frac{\underline{u}_2}{\underline{u}_1}\right| = \left|\frac{\underline{Z}_{21}}{\underline{Z}_{11} + \dfrac{\underline{I}_2}{\underline{U}_2^*}(\underline{Z}_{11}\underline{Z}_{22} - \underline{Z}_{12}\underline{Z}_{21})\dfrac{\underline{u}_2^*}{\underline{u}_2}}\right| \approx \left|\frac{\underline{Z}_{21}}{\underline{Z}_{11}}\right| \approx 1$$

cuplaje nesimetrice (transformatoare transversale) ca și variații de sarcină, de exemplu prin iterații.

Calculul repartiției economice a sarcinii în sistemele mari este atît de voluminos încît pînă în prezent au fost realizate cu precădere instalații de calcul analogice [1], [16] care determină minimum de costuri din curbele de creșteri relative pozitiv crescătoare. Pentru calculatoare numerice există procedee [19], cu care se pot cerceta nu numai costuri minime relative, ci și absolute la curbele de creșteri relative cu alură oarecare și la care se pot lua în considerare și numeroasele condiții secundare discontinue. Acestea pot fi, spre exemplu, pierderile prin laminare și benzile de reglare ale centralelor termoelectrice cu abur, volumele limitate ale acumulărilor

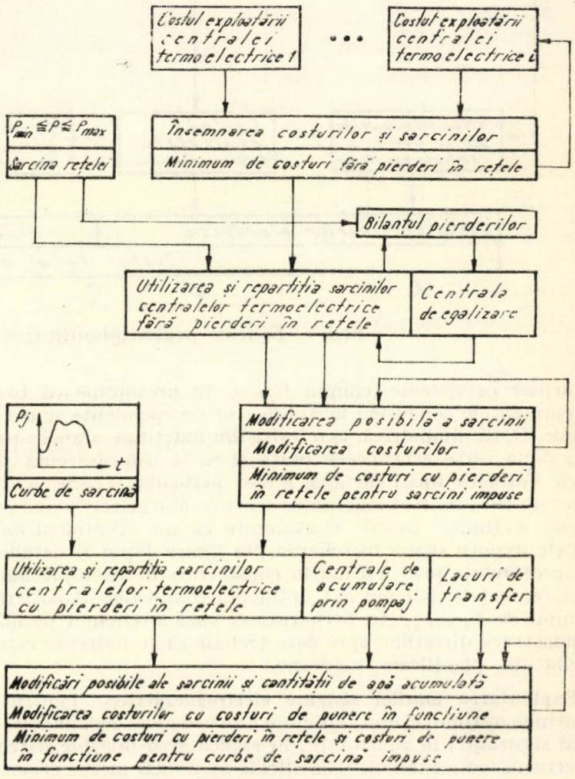


Fig. 3. Schemă pentru calculul repartiției economice a sarcinilor.

prin pompare și tarifele variabile ale sistemelor energetice învecinate. Conform părții superioare a figurii 3 se determină mai întîi funcționarea și repartiția sarcinilor centralelor termoelectrice pentru sarcina prestabilită P fără considerarea pier-

derilor. Dacă se adaugă sau se scad sistematic și într-o succesiune ciclică puteri suplimentare în centrale și se ține cont acum și de pierderile în rețea, se obține pentru aceleași centrale în funcțiune o repartiție diferită de puteri, modificată ca urmare a considerării pierderilor. Dacă se consideră, în continuare, o curbă de sarcină $P(t)$, se pot, de asemenea, varia sistematic, în succesiune ciclică, volumele de apă acumulată în rezervoare și în mod necorespunzător energia centralelor termoelectrice, inclusiv cea necesară pornirilor, precum și energia în punctele de interconexiune. Din condiția de costuri minime rezultă repartiția cea mai economică a sarcinilor.

Protecția rețelelor. Protecția împotriva scurtcircuitelor se realizează și în marile sisteme electroenergetice cu ajutorul cunoscutelor relee mecanice sau electronice de protecție. Pentru protecția liniilor de lungime medie sau mare se folosesc cu precădere relee de distanță. Posibilitățile lor de reglare și de măsură sînt suficiente pentru treapta de bază, nu întotdeauna însă și pentru treptele următoare, între altele datorită repartițiilor posibile ale curenților ramificați și schimbărilor de configurație. Pentru linii scurte intră în considerație protecția diferențială de curent sau cea diferențială de fază, mai favorabilă din punct de vedere al informațiilor tehnice necesare, deoarece nu trebuie transmise la distanță decît trecerile prin zero ale curenților. Datorită creșterii curenților de scurtcircuit și solicitărilor sporite în ceea ce privește siguranța în alimentare, crește însemnătatea protecției de bare în rețelele cu neutrul legat la pămînt.

Notă: Bibliografia indicată de autor poate fi consultată în revista *Elektrotechnische Zeitschrift —A* din 13.09.1968, p. 514.

—— o ——

Alegerea sistemului de acționare a agregatelor din instalațiile chimice

Ing. Ion Boța *)

Analiza instalațiilor mari tehnologice din industria chimică anorganică arată că performanțele și economiile realizate prin acțiunea combinată de recuperare avansată a resurselor energetice secundare din procesele tehnologice respective, cu alegerea judicioasă a sistemului de acționare (cu motoare electrice, cu turbine cu abur sau cu turbine cu gaz), sînt apreciabile și impun acordarea unei atenții deosebite la studiul și soluționarea acestei probleme importante.

Astfel, se constată că, în ultimii ani, puterea totală a turbinelor puse în funcțiune — pentru acționarea agregatelor principale de compresie și pompare din instalațiile tehnologice din industria chimică — a crescut foarte mult, ajungînd la 50% din puterea totală instalată, și tinde ca pînă la finele cincinalului să crească la peste 60%.

O altă constatare importantă a acestei evoluții este aceea că s-au putut realiza agregate mari (de compresie în special) și unicate pentru o linie de fabricație, utilizîndu-se turbine cu abur sau turbine cu gaze. Se obțin astfel performanțe sensibil superioare.

Agregatele tehnologice de capacități mari necesită 15—25 MW/utilaj. Pentru aceste puteri nu s-au putut construi aparate electrice și electromotoare care să asigure o pornire și o funcționare sigură și stabilă.

Utilizîndu-se în schimb turbine cu abur sau turbine cu gaze, acționarea acestor utilaje nu creează probleme deosebite, situîndu-se și în zona randamentelor bune. În plus, exploatarea și întreținerea acestor agregate se fac fără greutăți mari.

Procesele tehnologice mai importante din industria chimică anorganică în care apar astfel de probleme sînt: industria amoniacului, industria acidului azotic, industria acidului sulfuric, industria sodei calcinate etc.

Toate aceste industrii, în ultima vreme, și-au mărit de cîteva ori capacitatea unei singure linii de fabricație tehnologică, astfel:

— Capacitățile instalațiilor tehnologice din industria amoniacului au crescut în ultimii cinci ani mai mult de 4 ori, de la 360 t/zi la 1500 t/zi, cele de uree au crescut de peste 6 ori, de la 150 t/zi la 960 t/zi, iar cele de metanol pînă la de 10 ori;

— De asemenea, în industria acidului sulfuric capacitățile instalațiilor tehnologice în ultimii opt ani au crescut de 4 ori, de la 150 t/zi la 600 t/zi.

Paralel cu această construcție de instalații cu capacități ridicate a fost necesară o preocupare atentă în alegerea agregatelor de acționare a compresoarelor și pompelor din instalațiile respective. Această acțiune este strîns legată de problema recuperării resurselor energetice secundare din procesul tehnologic respectiv și de îmbunătățirea performanțelor agregatelor de recuperare a căldurii reziduale.

Este important de precizat că industriile chimice amintite sînt și mari consumatoare de căldură (mai ales sub formă de abur la diferite nivele de presiune și temperatură).

*) Ion Boța este inginer la IPRAN — București.

Pentru evidenţierea acestui fapt se prezintă, în continuare, un exemplu de mod de rezolvare din industria amoniacului pentru o instalaţie cu o capacitate de 1000 t/zi.

Pe scurt, procesul tehnologic al amoniacului constă din intrarea în reacţie a gazului metan cu aburul, pe măsura avansării prin tuburile cu catalizatori, încălzite într-un cuptor (aceasta formînd de fapt cracarea primară). Reacţia se continuă pe măsură ce amestecul de gaze trece prin reactorul catalitic (sau instalaţia de cracare secundară).

Reacţiile catalitice următoare oxidează CO în CO_2 (convertorul de CO). CO_2 este extras într-o instalaţie de spălare. Urmele de CO sînt retransformate în gaz metan (instalaţia de metanizare), pentru a prepara gazele de sinteză. Aceste gaze se recirculă printr-o coloană cu catalizator care transformă hidrogenul şi azotul în amoniac (instalaţia de sinteză).

Caracteristicile energetice ale acestui proces, care impun o analiză complexă pentru creşterea eficienţei economice a tehnologiei respective, sînt:

1. O serie de reacţii au loc la temperaturi mai mari sau mai mici, şi aceasta influenţează în mare măsură eficienţa procesului, funcţie de gradul cum se reuşeşte ca procesele consumatoare de căldură să primească căldura de la procesele care furnizează căldura ce trebuie eliminată de la acestea.

2. Eficienţa economică a procesului depinde, la aparatele cu nivel ridicat de temperatură, de gradul de recuperare a căldurii sub formă de abur, pentru acţionarea utilajelor şi eventual pentru alimentarea consumatorilor de căldură din proces, din contrapresiunea sau prizele turbinelor antrenate.

3. Căldura reziduală rezultată din proces nu este suficientă de obicei (dacă s-ar recupera sub formă de abur) pentru acţionarea compresoarelor şi pompelor aferente procesului.

Arătînd fazele procesului tehnologic din exemplul de mai sus, se mai aminteşte că reformarea, conversia şi metanizarea se fac la presiuni variind între 20 şi 60 kgf/cm² în procesele tehnologice moderne, iar sinteza amoniacului se face între 150 şi 350 kgf/cm².

Pentru asigurarea condiţiilor realizării procesului de fabricaţie sînt necesare următoarele operaţii:

— comprimarea gazului metan de la presiunea din reţeaua de transport pînă la presiunea de reformare;

— comprimarea aerului, necesar procesului, de la presiunea atmosferică pînă la aceeaşi presiune a gazului metan;

— comprimarea gazelor de sinteză de la presiunea de reformare pînă la presiunea la care se face sinteza amoniacului.

Pentru acest proces tehnologic mai sînt necesare următoarele operaţii importante:

— comprimarea gazelor de amoniac din instalaţiile tehnologice şi a celor degajate din depozite, în vederea lichefierii lor şi introducerii în depozit;

— diverse pompe de soluţii de spălare, ventilatoare de aer de ardere şi pentru gaze de ardere de la cuptorul de reformare etc.

În figura 1 se indică o balanţă energetică a unei fabrici de amoniac de 1000 t/zi în cazul în care acţionarea la o parte din utilaje se face cu turbine cu abur, aburul fiind obţinut în mare parte prin recuperări avansate de căldură reziduală din procesul tehnologic, iar compresoarele de gaz de sinteză se consideră acţionate fie cu turbine cu gaze, fie cu motoare electrice, fie cu turbine cu abur.

Făcînd comparaţia consumurilor de gaz metan pentru cele trei variante de acţionare a compresorului de gaz de sinteză, se constată, din tabela 1, că economia de combustibil cea mai mare se obţine în varianta folosirii turbinei cu gaz, urmată de variantele folosirii turbinei cu abur şi folosirii motorului electric.

Tabela 1

Nr. crt.	Consumuri	U.M.	Turbină cu abur	Turbină cu gaze	Motoare electrice
1	Gaz metan pentru proces	Nm^3/h	38 000	38 000	38 000
2	Gaz metan pentru cuptorul de reformare	Nm^3/h	15 000	11 000	10 000
3	Gaz metan pentru cazanul auxiliar	Nm^3/h	900	100	—
4	Gaz metan pentru turbina cu gaze	Nm^2/h	—	800	—
5	Gaz metan pentru energia electrică	Nm^3/h	—	—	12 000
	TOTAL	Nm^3/h	53 900	49 900	60 000

Această economie, raportată la o zi sau la un an de funcţionare, justifică pe deplin acordarea unei atenţii deosebite problemei acţionărilor. Paralel cu aceasta, însă, este imperios necesar să se ţină seama şi de posibilităţile de realizare a acestor agregate şi de costul lor.

Aşa cum este bine cunoscut, progresele înregistrate în construcţia turbinelor cu gaze sînt remarcabile şi se pot satisface necesităţile stringente ale industriei.

Cu toate acestea, proiectanţii din industrie greu acceptă utilizarea turbinelor cu gaze, preferînd sistemele de acţionări obişnuite, cu

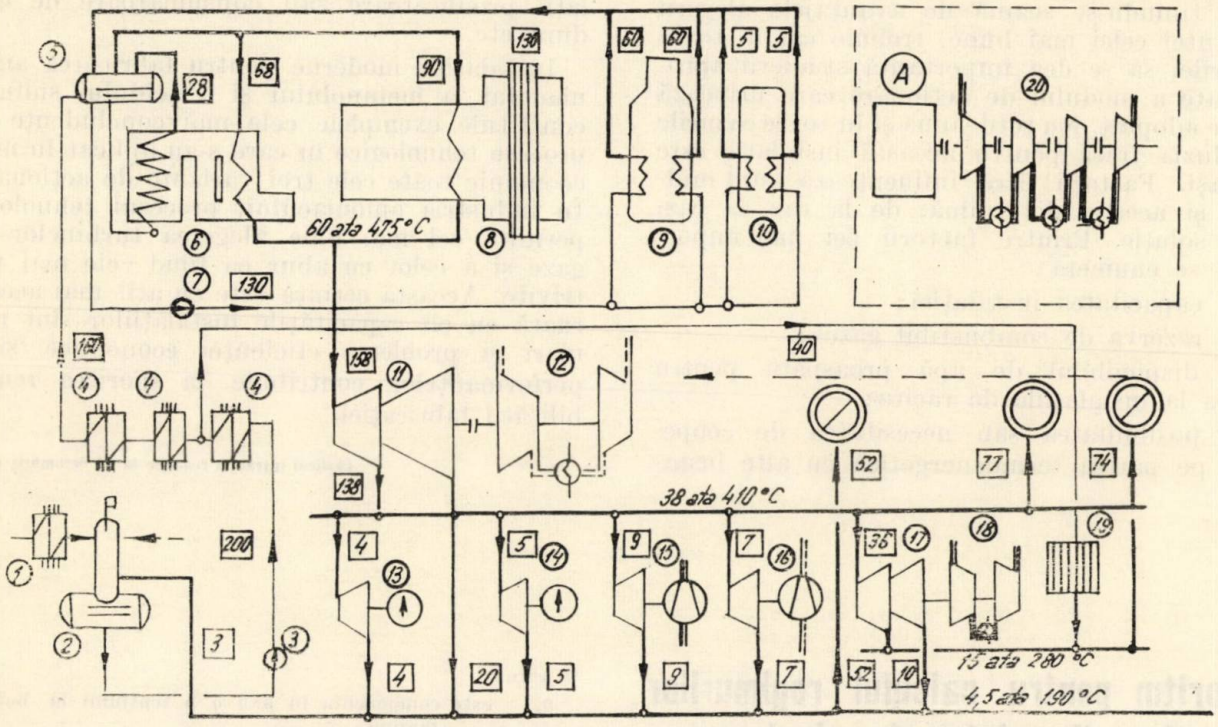


Fig. 1. Schema termică de principiu pentru o fabrică de amoniac de 1 000 t/zi:

1 — recuperator de căldură; *2* — degazor termic; *3* — pompă de alimentare; *4* — recuperatoare de căldură; *5* — tambur separator; *6* — cazan auxiliar; *7* — pompe de recirculaţie; *8* — cuptor de cracare primară; *9* — cracarea secundară; *10* — convertor CO; *11* — turbina cu abur; *12* — compresor de aer de proces; *13* — turbina cu abur pentru pompa de recirculaţie; *14* — turbina cu abur pentru pompa soluţii chimice; *15* — turbina cu abur pentru ventilator de aer; *16* — turbina cu abur pentru ventilator gaze arse; *17* — turbina cu abur; *18* — compresor de gaz metan de proces; *19* — cazan de abur recuperator; *20* — compresor de gaze de sinteză; *A* — agregat de acţionare a compresorului de gaz de sinteză.

turbine cu abur sau cel mai adesea cu motoare electrice.

Evident, eficienţa turbinelor cu gaze este foarte importantă cînd se combină cu o utilizare la maximum a energiei termice din gazele de eşapament.

Dintr-o statistică a instalaţiilor realizate sau în curs de execuţie se vede că costul specific de instalare a turbinelor cu gaze este însă cel mai ridicat faţă de cel al turbinelor cu abur şi al motoarelor electrice.

Astfel, investiţia specifică pentru agregatele sistemelor de acţionare, a căror putere variază între 7500 şi 15 000 kW, este:

Nr. crt.	Sistemul de acţionare	Lei/kW instalat
1	Turbine cu gaze	3 000—1 800
2	Turbine cu abur	760—520
3	Motoare electrice	600—400

Aceste costuri cuprind numai agregatul de acţionare, nu şi instalaţiile auxiliare. Dacă se iau în considerare şi instalaţiile anexe, se constată că investiţia globală este cea din tabela 2.

Analizînd în paralel eforturile de investiţii cu costurile de exploatare, se poate alege varianta cea mai economică. În aceste condiţii, varianta cea mai economică — considerîndu-se recuperarea investiţiei în cinci ani — este cea cu turbine cu gaze.

Alegerea soluţiei celei mai economice comportă un efort de proiectare destul de complex,

Tabela 2

(mii lei)

Nr. crt.	Instalaţii	Turbină cu gaze	Turbină cu abur	Motor electric
1	Agregatul de acţionare	54 000	17 400	12 000
2	Condensator turbină	—	4 400	—
3	Maşina compresorului de răcire	10 800	7 800	—
4	Condensatorul maşinii	300	—	—
5	Acţionarea compresorului de aer	12 000	13 800	—
6	Acţionarea pompei de la turnurile de răcire	6 400	7 200	12 500
7	Turnuri de răcire	2 200	4 400	7 500
8	Instalaţii suplimentare la reformarea secundară	6 000	—	—
9	Cost suplimentar la cazanul auxiliar	—	27 000	—
10	Recuperatoare de joasă presiune, cost suplimentar	3 200	—	—
11	Instalaţii electrice pentru motoare electrice	—	—	21 300
	TOTAL	94 900	82 000	53 300

însă, ținîndu-se seamă de avantajele alegerii variantei celei mai bune, trebuie ca, în toate cazurile, să se dea importanță studierii aprofundate a modului de acționare care urmează să fie adoptat. Nu totdeauna și în toate cazurile concluzia trasă pentru această instalație este aceeași. Factorii care influențează sînt multipli și aceștia determină, de la caz la caz, altă soluție. Printre factorii cei mai importanți se enumeră:

— capacitatea instalației;

— rezerva de combustibil gazos;

— disponibilul de apă proaspătă pentru adaos la instalațiile de răcire;

— posibilitatea sau necesitatea de cooperare pe partea termoenergetică cu alte instalații producătoare sau consumatoare de căldură etc.

Instalațiile moderne pentru fabricarea amoniacului, a metanolului și a acidului sulfuric constituie exemplele cele mai concludente de procese tehnologice în care s-au aplicat în mod economic toate cele trei variante de acționare. În industria amoniacului, procesul tehnologic permite cel mai bine alegerea turbinelor cu gaze și a celor cu abur ca fiind cele mai potrivite. Această cerință este cu atît mai accentuată cu cît capacitățile instalațiilor sînt mai mari și problema eficienței economice și a performanțelor contribuie la sporirea rentabilității fabricației.

(Articol intrat în redacție la 22 octombrie 1968)

———— o ————

Algoritm pentru calculul regimurilor dinamice din sistemele electroenergetice

Ing. Ionescu Sebastian, mat. Staadecker Mihai, mat. Iosub Ileana*)

Algoritmul de calcul al regimurilor dinamice, prezentat în această lucrare, a fost întocmit în scopul predeterminării variației în funcție de timp a mărimilor variabile într-o rețea electrică, la apariția unor perturbații succesive (scurtcircuite, deconectări, reanclanșări etc.) și este utilizat în studiul stabilității dinamice a sistemului electroenergetic.

La elaborarea algoritmului s-au luat în considerare fenomenele tranzitorii din mașinile sincrone, precum și influența regulatoarelor automate de tensiune și de viteză asupra stabilității dinamice, în sistemul energetic complex.

Algoritmul de calcul a fost concretizat într-un program pentru calculatorul numeric Elliott 4120 al DSE, cu ajutorul căruia se pot studia regimurile dinamice ale rețelelor buclate cu 100 de noduri la care sînt conectate pînă la 50 de generatoare. Programul, denumit REDI (*RE*gimuri *DI*namice), este utilizat în cadrul ISPE în studiile de dezvoltare a sistemului energetic național.

1. **Ecuațiile modelului matematic.** A. *Mașina sincronă.* Studiul regimurilor tranzitorii ale mașinii sincrone se face folosind rezultatele obținute în anexă.

În axa q, ecuațiile operaționale care definesc tensiunile electromotoare e''_q și e'_q sînt:

$$T''_{d_0} \cdot s e''_q = e'_q + \frac{x'_d - x''_d}{x''_d} \cdot u_q - \frac{x'_d}{x''_d} \cdot e''_q \qquad (1)$$

$$T'_{d_0} \cdot s e'_q = e_f - \frac{x_d - x''_d}{x'_d - x''_d} \cdot e'_q + \frac{x_d - x'_d}{x'_d - x''_d} \cdot e''_q \qquad (2)$$

în care:

u_q este componenta în axa q a tensiunii la bornele mașinii;

e_f — t.e.m. corespunzătoare tensiunii de excitație a mașinii sincrone;

T'_{d_0}, T''_{d_0} — constanta de timp a înfășurării de excitație, respectiv, a amortizorului longitudinal.

Componenta în axa d a curentului statoric are expresia:

$$i_d = \frac{e''_q - u_q}{x''_d}. \qquad (3)$$

În axa d, t.e.m. supratranzitorie e''_d se definește prin următoarea ecuație operațională:

$$T''_{q_0} s \cdot e''_d = \frac{x_q - x''_q}{x''_q} u_d - \frac{x_q}{x''_q} \cdot e''_d, \qquad (4)$$

în care:

u_d este componenta tensiunii la borne în axa d;

T''_{q_0} — constanta de timp a amortizorului transversal.

Componenta curentului statoric în axa q este

$$i_q = \frac{u_d - e''_d}{x''_q}. \qquad (5)$$

Rezultă diagrama fazorială a mașinii sincrone din figura 1.

Ecuațiile diferențiale ale regimului tranzitoriu electromecanic sînt:

$$Ms\omega + D\omega = T - P \qquad (6)$$

$$s\delta = \omega_0 \cdot \omega, \qquad (7)$$

în care:

δ este unghiul intern al mașinii sincrone față de axa reală a sistemului general de coordonate $(+1, +j)$, (radiani);

ω — abaterea vitezei de rotație a mașinii față de viteza sincronă (u.r.);

T — cuplul mecanic în u.r., egal cu puterea mecanică a turbinei în u.r., considerînd că viteza de rotație este apropiată de viteza sincronă;

*) Autorii lucrează la Institutul de studii și proiectări energetice.

P — puterea activă a mașinii (în u.r.) care se obține din expresia:

$$P = Re\,(u \cdot i^*) = u_d\, i_d + u_q\, i_q = \\ = e''_d\, i_d + e''_q\, i_q + (x''_q - x''_d)\, i_q\, i_d; \tag{8}$$

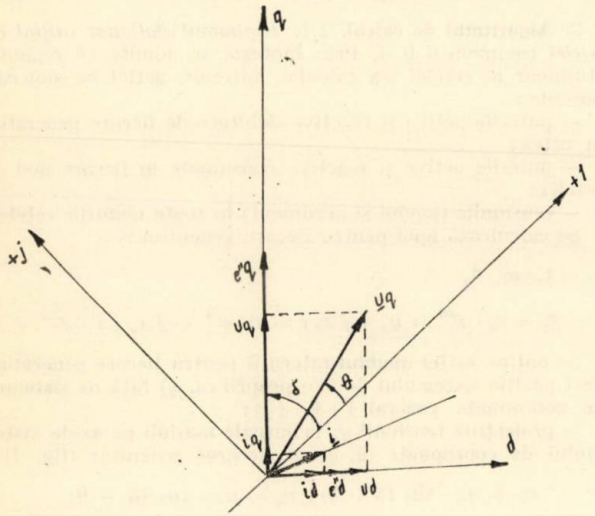


Fig. 1

M — momentul de inerție al grupului (s);

D — coeficientul de autoreglaj al turbinei (în u.r.);

$$(\omega_0 = 314 \text{ rad/s}).$$

B. *Sistemul de reglare a tensiunii.* Acesta modifică t.e.m. e_f funcție de abaterea tensiunii la borne $(u_{g_0} - u_g)$, u_{g_0} fiind tensiunea de consemn a regulatorului, egală cu tensiunea la bornele mașinii în regimul permanent anterior defectului.

Schema bloc a sistemului de reglare a tensiunii este dată în figura 2.

$F_r(s)$ este funcția de transfer a regulatorului de tensiune care s-a considerat de forma (9) sau (10):

$$F_r(s) = \frac{K_r\,(T_s \cdot s + 1)}{(T_{r_1}\, s + 1)\,(T_{r_2} s + 1)} \tag{9}$$

$$F_r(s) = \frac{K_r}{T_r\, s + 1} \tag{10}$$

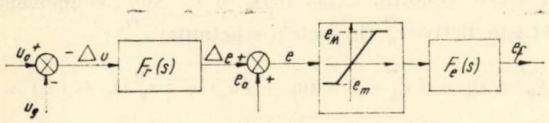


Fig. 2

Mărimea e (fig. 2) este o t.e.m. proporțională cu tensiunea de excitație a excitatoarei, e_0 fiind valoarea acesteia în regimul permanent inițial.

$F_e(s)$ este funcția de transfer a excitatoarei și are forma:

$$F_e(s) = \frac{K_e}{T_e \cdot s + 1} \tag{11}$$

Ecuațiile corespunzătoare sistemului de reglare a tensiunii, în cazul folosirii formei (10) pentru $F_r(s)$, sînt:

$$(T_r\, s + 1)\,\Delta e = K_r\,(u_{g_0} - u_g)$$

$$e = e_0 + \Delta e \tag{12}$$

$$e_m \leqslant e \leqslant e_M$$

$$(T_e \cdot s + 1) \cdot e_f = K_e \cdot e.$$

În cazul utilizării formei (9) pentru $F_r(s)$, se efectuează o descompunere prealabilă a funcției de transfer în fracții simple.

Rezultă în acest caz următoarele ecuații:

$$(T_{r_1} \cdot s + 1)\,\Delta e_1 = A \cdot (u_{g_0} - u_g)$$

$$(T_{r_2} \cdot s + 1) \cdot \Delta e_2 = B \cdot (u_{g_0} - u_g)$$

$$e = \Delta\, e_1 + \Delta e_2 + e_0 \tag{13}$$

$$e_m \leqslant e \leqslant e_M$$

$$(T_e \cdot s + 1) \cdot e_f = K_e \cdot e\,,$$

în care

$$A = \frac{K_r \cdot (T_{r_1} - T_s)}{T_{r_1} - T_{r_2}}$$

$$B = \frac{K_r \cdot (T_{r_1} - T_s)}{T_{r_2} - T_{r_1}}.$$

C. *Sistemul de reglare a vitezei.* Acesta are rolul de a modifica cuplul mecanic T funcție de abaterea vitezei de rotație a grupului ω.

Schema bloc a regulatorului de viteză este dată în figura 3.

$F_v(s)$ este de forma:

$$F_v(s) = \frac{ms + 1}{\tau s + \sigma} \tag{14}$$

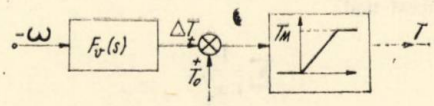


Fig. 3

în care

σ este statismul permanent al regulatorului;

τ — promptitudinea regulatorului ($\tau = \sigma.\, T$, în care T este constanta de timp a servomotorului regulatorului de viteză);

m — constanta accelerometrului;

T_0 — componenta constantă a cuplului mecanic, egal cu puterea (în u.r.) dezvoltată de turbină în regimul permanent anterior avariei.

Funcției de transfer (14) îi corespunde ecuația operațională:

$$(\tau s + \sigma) \cdot \Delta\, T = -\,(m \cdot s + 1).\,\omega\,.$$

Accelerația $s\omega$ care intervine în partea dreaptă a ecuației anterioare se substituie din ecuația (6); se obține astfel:

$$(\tau s + \sigma)\,\Delta T = -\,m\,\frac{T - P - D\omega}{M} - \omega.$$

Rezultă următorul sistem de ecuații care modelează funcționarea regulatorului de viteză:

$$(\tau s + \sigma) \cdot \Delta T = -\frac{m}{M}(T - P) + \left(\frac{mD}{M} - 1\right) \cdot \omega$$

$$\Delta T + T_0 = T \qquad (15)$$

$$0 \leqslant T \leqslant T_M$$

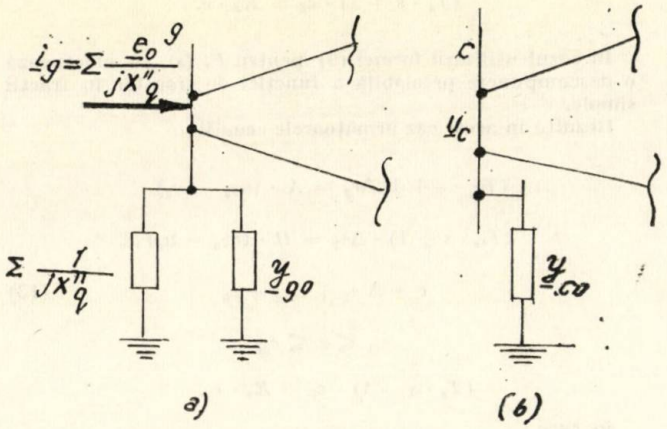


Fig. 4

D. *Rețeaua electrică.* Regimul de funcționare a rețelei se determină folosind următoarea formă pentru sistemul de ecuații nodale:

$$\begin{vmatrix} [\underline{y}_{gg}] & [\underline{y}_{gc}] \\ [\underline{y}_{cg}] & [\underline{y}_{cc}] \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} [\underline{u}_g] \\ [\underline{u}_c] \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} [\underline{i}_g] \\ [0] \end{vmatrix}, \qquad (16)$$

în care:

indicele g se referă la nodurile rețelei în care sînt conectate mașini sincrone, iar indicele c la restul nodurilor rețelei.

Într-un nod de tip g se consideră (fig. 4 *a*):

— admitanța y_{g_0} corespunzătoare puterilor active și reactive consumate local;

— admitanțele supratranzitorii în axa q ale generatoarelor legate în acest nod:

$$\sum \frac{1}{j\, x''_q};$$

— injectoarele echivalente de curent ale generatoarelor conectate în acest nod:

$$\underline{i}_g = \sum \frac{\underline{e}''_0}{j\, x''_q},$$

$\underline{e}''_0$ fiind t.e.m. în „spatele" reactanței x''_q.

Într-un nod de tip c se consideră (fig. 4 *b*):

— admitanța nod-pămînt y_{c_0} corespunzătoare puterilor consumate local, injecția de curent fiind nulă.

În sistemul de ecuații (16) se elimină matricea $[\underline{u}_c]$. Pentru aceasta, (16) se rescrie sub forma:

$$[\underline{y}_{gg}] \cdot [\underline{u}_g] + [\underline{y}_{gc}] \cdot [\underline{u}_c] = [\underline{i}_g]$$

$$[\underline{y}_{cg}] \cdot [\underline{u}_g] + [\underline{y}_{cc}] \cdot [\underline{u}_c] = [0]$$

din care rezultă

$$[\underline{u}_c] = -[\underline{y}_{cc}]^{-1} \cdot [\underline{y}_{cg}]\,[\underline{u}_g] \qquad (17)$$

și

$$\{[\underline{y}_{gg}] - [\underline{y}_{gc}] \cdot [\underline{y}_{cc}]^{-1} \cdot [\underline{y}_{cg}]\}\,[\underline{u}_g] = [\underline{i}_g]\,. \qquad (18)$$

Matricea

$$[\underline{y}''] = [\underline{y}_{gg}] - [\underline{y}_{gc}] \cdot [\underline{y}_{cc}]^{-1} \cdot [\underline{y}_{cg}]$$

corespunde echivalentului REI al rețelei [1], în care s-au reținut numai nodurile de tip g.

Din sistemul de ecuații (18), se obține matricea $[\underline{u}_g]$:

$$[\underline{u}_g] = [\underline{y}'']^{-1} \cdot [\underline{i}_g]\,. \qquad (19)$$

2. **Algoritmul de calcul.** 2.1. *Regimul staționar inițial al rețelei* (momentul 0_). Prin ipoteză, se admite că regimul staționar al rețelei s-a calculat anterior, astfel că sînt cunoscute:

— puterile active și reactive debitate de fiecare generator în rețea;

— puterile active și reactive consumate în fiecare nod al rețelei;

— tensiunile (modul și argument) în toate nodurile rețelei.

Se calculează apoi pentru fiecare generator:

— t.e.m. $\underline{e}_q$

$$\underline{e}_q = e_q \cdot \varepsilon^{j\delta} = \underline{u}_g + j\, x_q\, \underline{i} = u \cdot \varepsilon^{j\theta} + j\, x_q \cdot i \cdot \varepsilon^{j\psi}.$$

Se obține astfel unghiul intern δ pentru fiecare generator, deci poziția sistemului de axe proprii (d, q) față de sistemul de coordonate general ($+1$, $+j$);

— proiecțiile tensiunii $\underline{u}_g$ la bornele mașinii pe axele sistemului de coordonate (d, q) al fiecărui generator (fig. 1):

$$u_d = u_g \cdot \sin(\delta - \theta);\quad u_q = u_g \cdot \cos(\delta - \theta);$$

— proiecțiile curentului $\underline{i}$ debitat de generator în același sistem de coordonate:

$$i_d = i \sin(\delta - \psi);\quad i_q = i \cdot \cos(\delta - \psi);$$

— tensiunile electromotoare e''_d și e''_q:

$$e''_d = u_d - x''_q \cdot i_q$$

$$e''_q = u_q + x''_d \cdot i_d;$$

— tensiunea electromotoare e'_q:

$$e'_q = \frac{x'_d}{x''_d} \cdot e''_q - \frac{x'_d - x''_d}{x''_d} \cdot u_q;$$

— tensiunea electromotoare e_f:

$$e_f = \frac{x_d}{x'_d} \cdot e'_q - \frac{x_d - x'_d}{x'_d} \cdot u_q\,.$$

Se determină, de asemenea, o t.e.m. fictivă în axa q în spatele reactanței x''_q:

$$(e''_q)_0 = u_q + x''_q \cdot i_d\,.$$

În aceste condiții, t.e.m. $(e''_q)_0$ și e''_d sînt componentele unei t.e.m. fictive $\underline{e}''_0$ (în spatele reactanței x''_q):

$$\underline{e}''_0 = \underline{u}_g + j\, x''_q \cdot \underline{i} = (u_d + j\, u_q) + j\, x''_q\,(i_d + j\, i_q) =$$

$$= (u_d - x''_q \cdot i_q) + j\,(u_q + x''_q \cdot i_d) = e''_d + j\,(e''_q)_0.$$

Din egalitatea

$$i_d = \frac{e''_q - u_q}{x''_d} = \frac{(e''_q)_0 - u_q}{x''_q}$$

se obține expresia (20):

$$(e''_q)_0 = \frac{x''_q}{x''_d} \cdot e''_q + \left(1 - \frac{x''_q}{x''_d}\right) \cdot u_q. \qquad (20)$$

La interconexiunea mașinilor sincrone cu rețeaua, fiecare mașină sincronă se poate reprezenta prin o t.e.m. fictivă $\underline{e}_0''$ în spatele reactanței x_q'' și deci printr-un injector echivalent de curent [4]:

$$\underline{i}_g = \frac{\underline{e}_0''}{j\, x_q''}.$$

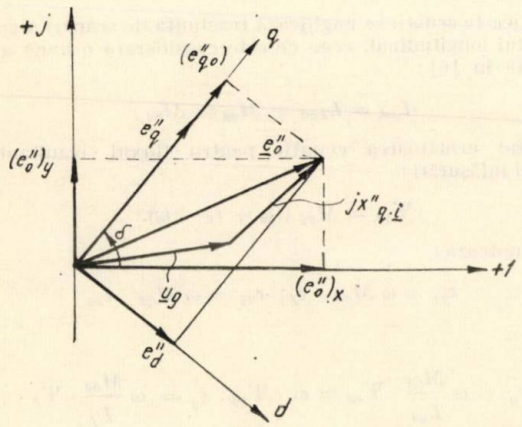


Fig. 5

2.2. *Apariția unei perturbații* (momentul 0_+ și în general orice moment t_+).

Orice perturbație care apare în rețeaua electrică corespunde unor modificări în matricea de admitanțe a sistemului de ecuații (16). După efectuarea acestor modificări, se calculează matricea $[\underline{y}'']$. La obținerea acestei matrice se evită operația de inversare a matricei $[\underline{y}_{cc}]$ (relația 18) printr-o operație de eliminare succesivă a necunoscutelor $\underline{u}_c$ în sistemul de ecuații reziduale.

Metoda de obținere a matricei $[\underline{y}'']$ a fost descrisă într-o lucrare anterioară [3], ea fiind aplicată cu rezultate foarte bune în cazul rețelelor electrice.

În continuare, matricea $[\underline{y}'']$ se transformă într-o matrice triunghiulară $[\underline{y}_r'']$ în scopul obținerii soluției $[\underline{u}_g]$ (relația 19) într-un timp redus de calcul. Se observă că această transformare se efectuează prin aceeași operație de eliminare și că, deci, rezultatul final este triunghiularizarea completă a matricei de admitanțe a sistemului de ecuații (16).

La apariția perturbației în rețea, unele mărimi fizice sînt invariante (variabile inerțiale); în cazul problemei considerate, aceste variabile sînt:

$$e_q'' \text{ (și } e_q'), \; e_d'', \; \delta.$$

Deci există egalitățile:

$$(e_q'')_- = (e_q'')_+; \quad (e_d'')_- = (e_d'')_+; \quad (\delta)_- = (\delta)_+. \quad (21)$$

În aceste condiții, regimul rețelei în momentul 0_+ (sau în general imediat după apariția unei perturbații) se determină astfel:

1. Se admite $\underline{e}_0'' = \text{const.}$ imediat după perturbație și se calculează:

$$\underline{e}_0'' = (e_0'')_x + j\,(e_0'')_y$$

în care

$(e_0'')_x = (e_q'')_0 \cdot \cos\delta + e_d'' \cdot \sin\delta$ este componenta reală a fazorului $\underline{e}_0''$

iar, $(e_0'')_y = (e_q'')_0 \cdot \sin\delta - e_d'' \cdot \cos\delta$ este componenta imaginară a fazorului $\underline{e}_0''$ (fig. 5).

Se observă că ipoteza $\underline{e}_0'' = \text{const.}$ este numai o aproximație inițială, deoarece componentele sale $(e_0'')_x$ și $(e_0'')_y$ sînt funcțiuni de $(e_q'')_0, e_d''$ și δ, între care numai e_d'' și δ sînt variabile inerțiale.

2. Se rezolvă sistemul liniar de ecuații (18), obținîndu-se soluția (19). Deoarece în prealabil matricea $[y'']$ a fost transformată într-o matrice triunghiulară, soluția $[\underline{u}_g]$, se obține un efort minim de calcul. Au rezultat astfel tensiunile în nodurile rețelei în care sînt conectate mașini sincrone în sistemul de axe general $(+1, +j)$:

$$[\underline{u}_g] = [(u_g)_x + j\,(u_g)_y] = [u_g \cdot \varepsilon^{j\theta}].$$

3. Se calculează componentele u_d și u_q ale tensiunilor $\underline{u}_g$ în sistemul de coordonate (d, q) al fiecărui generator:

$$u_d = u_g \sin(\delta - \theta)$$
$$u_q = u_g \cdot \cos(\delta - \theta)$$

în care δ păstrează, ca variabilă inerțială, valoarea anterioară perturbației, iar u_g și θ s-au calculat prin rezolvarea sistemului de ecuații (18).

4. Se recalculează mărimea $(e_q'')_0$, cu ajutorul expresiei (20), în funcție de variabila inerțială e_q'' și de componenta u_q determinată la punctul 3.

5. Dacă $(e_q'')_0$ acum calculat este practic egal cu vechiul $(e_q'')_0$, atunci se continuă la punctul 6, în caz contrar se revine la 1, determinîndu-se noile componente $(e_0'')_x$ și $(e_0'')_y$ în funcție de valoarea modificată $(e_q'')_0$ și se efectuează o nouă iterație.

6. Regimul de tensiuni la bornele generatoarelor a fost obținut respectînd condițiile (21) și se poate trece la calculul puterilor active debitate de generatoare, a tensiunilor în celelalte noduri ale rețelei (aplicînd relația 17) și la determinarea circulațiilor de curenți pe linii (deci la calculul impedanțelor aparente).

Observație importantă:

În cazul în care se neglijează anizotropia supratranzitorie a mașinii sincrone ($x_d'' = x_q''$), rezultă egalitatea

$$(e_q'')_0 = e_q''$$

și deci calculul anterior se efectuează direct, $\underline{e}_0''$ (modul și argument) devenind o variabilă inerțială. În acest caz, succesiunea operațiilor este următoarea:

1. Se calculează

$$(e_0'')_x = e_q'' \cdot \cos\delta + e_d'' \cdot \sin\delta$$

și

$$(e_0'')_y = e_q'' \cdot \sin\delta - e_d'' \cdot \cos\delta.$$

2. Se rezolvă sistemul liniar de ecuații (18), obținînd soluția $[\underline{u}_g]$; se continuă la punctul 6, expus anterior.

2.3. *Calculul regimului tranzitoriu*

După ce regimul de funcționare a rețelei la un moment dat a fost determinat conform metodei descrise, se trece la calculul mărimilor e_q'', e_d'', δ, precum și a cuplului mecanic al turbinei T la sfîrșitul unui interval de timp Δt. În acest scop este necesară integrarea numerică a sistemului de ecuații diferențiale care definesc aceste variabile, pentru intervalul de timp considerat Δt.

La integrarea sistemului de ecuații diferențiale se admit următoarele ipoteze:

a) tensiunile la bornele generatoarelor, împreună cu componentele acestora u_d și u_q sînt constante într-un interval de timp Δt și egale cu valorile luate la începutul pasului (momentul t_+);

b) puterile active debitate de mașinile sincrone sînt de asemenea constante în intervalul Δt și au valori egale cu cele de la începutul pasului (t_+).

Aceste ipoteze sînt necesare pentru a se evita calculul regimului tranzitoriu într-un interval de timp Δt printr-un procedeu iterativ. Un astfel de procedeu ar consta în consi-

derarea inițială a mărimilor u_g, u_d, u_q și P constante pe pas în calculul regimului tranzitoriu, urmînd ca, după determinarea regimului rețelei la sfîrșitul pasului, procedeul de calcul să se reia iterativ în cadrul aceluiași pas, admițînd pentru aceste mărimi fie valori medii, fie variații liniare în interiorul pasului de calcul.

S-a considerat însă că erorile introduse prin aceste două ipoteze devin neglijabile prin scurtarea convenabilă a intervalului de timp Δt, renunțîndu-se la procedeul iterativ.

Regimul tranzitoriu este descris de:

a) Sistemul de ecuații diferențiale ale regimului tranzitoriu electromecanic, incluzînd efectul regulatorului de viteză, format din ecuațiile (6), (7) și (15). Mărimile variabile sînt δ, ω, ΔT; pentru fiecare pas de calcul, P se consideră constant, iar T_0 este o constantă.

b) Sistemul de ecuații diferențiale ale regimului tranzitoriu electromagnetic, incluzînd efectul regulatorului de tensiune, format din ecuațiile (1), (2), (4) și (13). În cazul utilizării formei (10) pentru funcția de transfer F_r (s), în ecuațiile (13) se introduc $A = K_r$ și $\Delta e_2 = 0$. Mărimile variabile sînt e_q'', e_q', e_d'', Δe_1, Δe_2 și e_f; pentru fiecare pas de calcul, u_d, u_q și u_g sînt considerate constante.

Deoarece toate ecuațiile diferențiale sînt de ordinul 1, integrarea numerică se face comod cu ajutorul unui procedeu de tip Runge-Kutta, pentru mărirea preciziei fiind utilizată varianta Merson a acestui procedeu [9].

Cunoscînd valorile numerice ale variabilelor obținute prin integrarea sistemului de ecuații diferențiale (în particular, a variabilelor „pivot" e_q'', e_d'', δ și ΔT) la sfîrșitul intervalului de timp Δt, se poate trece la determinarea regimului electric al rețelei în acest moment (t_-) folosind procedeul descris la 3.2.

Dacă la sfîrșitul pasului nu apare o nouă perturbație, atunci regimul rețelei la sfîrșitul pasului (momentul t_-) este identic cu cel de la începutul pasului următor (momentul t_+) și se continuă aplicarea procedeului de calcul la intervalele următoare.

Dacă la sfîrșitul pasului apare o nouă perturbație, atunci, după determinarea regimului la momentul t_-, calculul se va relua ca la paragraful 3.2, determinîndu-se un nou regim al rețelei după apariția acestei perturbații (momentul t_+), ulterior calculul continuînd prin integrarea sistemului de ecuații diferențiale etc.

Concluzii. Algoritmul elaborat se bazează pe o modelare matematică mai precisă a fenomenelor tranzitorii din mașinile sincrone, luîndu-se în considerație și influența regulatoarelor de tensiune și viteză în studiul stabilității dinamice a sistemului electroenergetic.

Perfecționările ulterioare ale algoritmului vor trebui să țină seama de [5], [7]:

— fenomenul de saturație la mașinile sincrone;

— regimurile nesimetrice ale rețelei;

— fenomenele tranzitorii la consumatori (motoare asincrone).

Cu ajutorul programului REDI s-au efectuat numeroase calcule de testare la calculatorul Elliott 4120, rezultatele obținute fiind comparate cu cele publicate în literatura de specialitate [7] și cu cele obținute la EdF pe calculatorul CDC 6600 [8].

Concordanța deplină dintre aceste rezultate a confirmat justețea ipotezelor luate în considerare, precum și corectitudinea programului elaborat. Acesta este utilizat în cadrul ISPE în studiul stabilității dinamice, în numeroase studii de dezvoltare a sistemului energetic național.

O serie de aplicații, efectuate cu ajutorul programului REDI, precum și un studiu asupra influenței diverșilor parametri ai mașinilor sincrone și ai regulatoarelor de tensiune și viteză asupra stabilității dinamice a sistemului energetic complex vor fi publicate într-un număr următor al revistei.

ANEXĂ

Se consideră ecuațiile *Park* ale mașinii sincrone pentru axa longitudinală d:

$$\Psi_f = L_f \cdot i_f + M_{ad} \cdot i_{kd} - M_{ad} \cdot i_d$$

$$\Psi_{kd} = L_{kd} \cdot i_{kd} + M_{ad} \cdot i_f - M_{ad} \cdot i_d$$

$$\Psi_d = -L_d \cdot i_d + M_{ad} \cdot i_f + M_{ad} \cdot i_{kd}$$

$$u_f = r_f \cdot i_f + \frac{d\Psi_f}{dt}$$

$$0 = r_{kd} \cdot i_{kd} + \frac{d\Psi_{kd}}{dt}$$

$$u_q \cong \omega \cdot \Psi_d .$$

La aceste ecuații se neglijează reactanța de scăpări a amortizorului longitudinal, ceea ce este considerată o bună aproximație în [6]:

$$L_{kd} = L_{kd\sigma} + M_{ad} \cong M_{ad},$$

obținînd următoarea ecuație pentru fluxul rezultant al acestei înfășurări:

$$\Psi_{kd} = M_{ad}(i_{kd} + i_f - i_d).$$

Se notează:

$$e_{q_1} = \omega M_{ad} \cdot i_f ; \quad e_{q_2} = \omega M_{ad} \cdot i_{kd}$$

și

$$e_q'' = \omega \frac{M_{ad}}{L_{kd}} \cdot \Psi_{kd} \cong \omega \cdot \Psi_{kd} ; \quad e_q' = \omega \frac{M_{ad}}{L_f} \cdot \Psi_f .$$

Rezultă:

$$u_q = \omega \Psi_d = -\omega L_d \cdot i_d + \omega \cdot M_{ad} \cdot i_f + \omega M_{ad} \cdot i_{kd} =$$

$$= -x_d \cdot i_d + e_{q_1} + e_{q_2}$$

și

$$e_q' = \frac{\omega M_{ad}}{L_f} \cdot \Psi_f = \frac{\omega M_{ad}}{L_f} \cdot (L_f \cdot i_f + M_{ad} \cdot i_{kd} - M_{ad} \cdot i_d) =$$

$$= e_{q_1} + \frac{M_{ad}}{L_f} e_{q_2} - \frac{\omega M_{ad}^2}{L_f} \cdot i_d .$$

Deoarece:

$$L_d' = L_\sigma + \frac{L_{f\sigma} \cdot M_{ad}}{L_{f\sigma} + M_{ad}} = L_\sigma + \frac{(L_f - M_{ad}) \cdot M_{ad}}{L_f} =$$

$$= L_\sigma + M_{ad} - \frac{M_{ad}^2}{L_f} = L_d - \frac{M_{ad}^2}{L_f},$$

adică

$$L_d - L_d' = \frac{M_{ad}^2}{L_f} \text{ sau } \frac{\omega M_{ad}^2}{L_f} = x_d - x_d'$$

și deoarece

$$L_d'' = L_\sigma + \frac{M_{ad} \cdot L_{f\sigma} \cdot L_{kd\sigma}}{L_{f\sigma} \cdot L_{kd\sigma} + L_{f\sigma} \cdot M_{ad} + M_{ad} \cdot L_{kd\sigma}} \cong L_\sigma$$

$$(L_{kd\sigma} = 0)$$

adică

$$L_d - L_d'' = M_{ad},$$

rezultă că:

$$\frac{M_{ad}}{L_f} \cdot e_{q_2} \equiv \frac{M_{ad}^2}{L_f} \cdot \frac{1}{M_{ad}} \cdot e_{q_2} = \frac{x_d - x_d'}{x_d - x_d''} \cdot e_{q_2}$$

deci:

$$e_q' = e_{q_1} + \frac{x_d - x_d''}{x_d - x_d''} \cdot e_{q_2} - (x_d - x_d') \cdot i_d .$$

Analog,

$$e_q'' \cong \omega \Psi_{kd} = \omega M_{ad} i_{kd} + \omega M_{ad} \cdot i_f - \omega M_{ad} i_d = \\ = e_{q_1} + e_{q_2} - (x_d - x_d'') i_d.$$

Ecuaţia tensiunilor din înfăşurarea de excitaţie se pune sub forma:

$$\frac{u_f}{r_f} \cdot \omega M_{ad} = \omega M_{ad} \cdot i_f + \frac{\omega M_{ad}}{L_f} \cdot \frac{L_f}{r_f} \cdot \frac{d\Psi_f}{dt},$$

în care se notează

$$\frac{u_f}{r_f} \cdot \omega M_{ad} = e_f$$

şi

$$T_{d_0}' = \frac{L_f}{r_f},$$

rezultă

$$e_f = e_{q_1} + T_{d_0}' \cdot \frac{de_q'}{dt}.$$

Ecuaţia tensiunilor din circuitul amortizorului longitudinal se pune sub forma:

$$0 = \omega M_{ad} \cdot i_{kd} + \frac{\omega M_{ad}}{r_{kd}} \cdot \frac{d\Psi_{kd}}{dt}.$$

Deoarece

$$T_{d_0}'' = \frac{L_{kd} - \frac{M_{ad}^2}{L_f}}{r_{kd}} \cong \frac{M_{ad}}{r_{kd}} \cdot \frac{M_{ad} - \frac{M_{ad}^2}{L_f}}{M_{ad}} = \\ = \frac{M_{ad}}{r_{kd}} \cdot \frac{x_d' - x_d''}{x_d - x_d''},$$

rezultă că

$$\frac{M_{ad}}{r_{kd}} = T_{d_0}'' \cdot \frac{x_d - x_d''}{x_d' - x_d''},$$

în care s-a ţinut seama că

$$L_d - L_d'' = M_{ad}$$

şi

$$L_d' - L_d'' = L_d - \frac{M_{ad}^2}{L_f} - L_d + M_{ad} = M_{ad} - \frac{M_{ad}^2}{L_f}.$$

Rezultă că

$$0 = e_{q_2} + T_{d_0}'' \cdot \frac{x_d - x_d''}{x_d' - x_d''} \cdot \frac{de_q''}{dt}.$$

S-au obţinut deci următoarele ecuaţii de funcţionare ale maşinii sincrone în axa longitudinală [6]:

1. $u_q = - x_d \cdot i_d + e_{q_1} + e_{q_2}$;

2. $e_q' = e_{q_1} + \frac{x_d - x_d'}{x_d - x_d''} \cdot e_{q_2} - (x_d - x_d') i_d$;

3. $e_q'' = e_{q_1} + e_{q_2} - (x_d - x_d'') i_d$;

4. $e_f = e_{q_1} + T_{d_0}' \frac{de_q'}{dt}$;

5. $0 = e_{q_2} + T_{d_0}'' \frac{x_d - x_d''}{x_d' - x_d''} \cdot \frac{de_q''}{dt}$.

Din ecuaţiile (1) şi (3) rezultă şi

6. $e_q'' = - (x_d - x_d'') i_d + e_{q_1} + e_{q_2}$.

Între ecuaţiile (1), (2) şi (6) se elimină mărimile

$$e_{q_1},\ e_{q_2} \text{ şi } i_d,$$

obţinîndu-se:

$$e_{q_1} = \frac{x_d - x_d''}{x_d' - x_d''} \cdot e_q' - \frac{x_d - x_d'}{x_d' - x_d''} \cdot e_q''$$

$$e_{q_2} = - \frac{x_d - x_d''}{x_d' - x_d''} \cdot e_q' - \frac{x_d - x_d''}{x_d''} \cdot u_q + \\ + \frac{x_d'}{x_d''} \cdot \frac{x_d - x_d''}{x_d' - x_d''} \cdot e_q''$$

$$i_d = \frac{e_q'' - u_q}{x_d''}.$$

Mărimile e_{q_1} şi e_{q_2} se substituie în ecuaţiile (4) şi (5), rezultînd:

$$T_{d_0}' \frac{de_q'}{dt} = e_f - \frac{x_d - x_d''}{x_d' - x_d''} \cdot e_q' + \frac{x_d - x_d'}{x_d' - x_d''} \cdot e_q'';$$

$$T_{d_0}'' \frac{de_q''}{dt} = e_q' + \frac{x_d' - x_d''}{x_d''} \cdot u_q - \frac{x_d'}{x_d''} \cdot e_q''.$$

Din aceste două ecuaţii rezultante se calculează variaţia t.e.m. e_q' şi e_q'', care determină regimul de funcţionare al maşinii sincrone în această axă:

În regim staţionar:

$$e_f - \frac{x_d - x_d''}{x_d' - x_d''} \cdot e_q' + \frac{x_d - x_d'}{x_d' - x_d''} \cdot e_q'' = 0$$

şi

$$e_q' + \frac{x_d' - x_d''}{x_d''} u_q - \frac{x_d'}{x_d''} \cdot e_q'' = 0,$$

din care rezultă:

$$e_q' = \frac{x_d'}{x_d} \cdot e_f - \frac{x_d - x_d'}{x_d} \cdot u_q.$$

În axa transversală, considerînd influenţa mutuală a două circuite: stator q şi amortizor transversal kq, ecuaţiile sînt cele cunoscute din lucrări anterioare [2].

Bibliografie

[1] Dimo, P. *Analiza nodală a sistemelor electroenergetice.* Editura Academiei R.S.R., 1968.

[2] Manea, F., Ionescu, S. şi Pomîrleanu, M. *Calculul numeric al regimurilor tranzitorii succesive ale grupului generator cu reglaj de tensiune şi viteză în sistemul energetic.* St. cerc. energ., seria A, nr. 1, 1962.

[3] Ionescu, S., Ungureanu, B., Vasilescu, P. şi Staadecker, M. *Un nou algoritm de calcul pentru determinarea regimurilor staţionare de funcţionare a sistemului energetic cu ajutorul calculatoarelor electronice cifrice.* St. cerc. energ. electrotehn. 17, 1967, nr. 2.

[4] Day, J. E. şi Parton, K. C. *Generalised computer programm for power system analysis.* Proc. I.E.E. nr. 19, 1965.

[5] Olive, D. W. *New techniques for the calculation of dynamic stability.* IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, nr. 7, 1966.

[6] Olive, D. W. *Digital simulation of synchronous machine transients.* PICA, 1967.

[7] Barbier, C., Barret, P., Pioger, G. şi Sapet, P. *Utilisation des calculatrices numériques pour l'étude de la stabilité des réseaux de transport d'énergie.* RGE 77, 1968, nr. 7—8.

[8] Moraite. G. *Raport asupra stagiului efectuat EdF.* ISPE, 1968.

[9] Umezu, T., Kaminosono, H., Kimura, H. şi Tomiyama, J. *Analysis of transient phenomena of A. C. generators.* Proceedings PSCC, 1966, Part 3 — *Systems dynamics and transients.* Report 5.1.

(Articol intrat în redacţie la 4 octombrie 1968)

Unele aspecte generale ale modelării sistemelor electrice de putere

Conf. dr. ing. N. Bogoevici *)

Modelarea, deşi veche ca idee, constituie o metodă actuală de investigaţie în cele mai diverse domenii de cercetare ştiinţifică de proiectare, fiind deosebit de utilă pentru studiul sistemelor electrice de putere. În literatura de specialitate [1], [2], [5], [6], [7], [8], autorul nu a găsit o prezentare sistematică şi unitară a problemelor referitoare la modelare şi de aceea consideră că este util ca în cele ce urmează să se încerce prezentarea unor aspecte generale ale procedeelor de modelare şi modelelor, cu referiri concrete la sistemele electrice de putere.

1. Modelarea ca metodă de cercetare. Activitatea de cercetare ştiinţifică desfăşurată pentru rezolvarea unei anumite probleme pretinde examinarea unui număr important de ipoteze şi cazuri, astfel ca în final să se poată trage concluzii cu valabilitate cît mai generală. În domeniul tehnicii, aceasta înseamnă a găsi în final o soluţie optimă din punct de vedere tehnic şi economic.

Lucrările de cercetare premergătoare pentru găsirea soluţiei optime, şi în primul rînd verificarea experimentală, implică necesitatea adoptării unei anumite metodici de investigaţie care, la rîndul său, trebuie să fie de asemenea practică şi economică. Ar fi, evident, mult prea costisitor, spre exemplu, ca verificarea experimentală să se facă cu ajutorul unei instalaţii realizată la aceeaşi scară cu cea industrială. În cazul instalaţiilor complexe, aceasta este chiar imposibil de realizat practic. Metodica cea mai potrivită pentru a fi folosită în acest sens constă în conceperea şi realizarea unui *model* al instalaţiei, sau al procesului respectiv, care să permită studiul indirect al proprietăţilor şi transformărilor ce au loc în sistemul fizic dat, denumit *original*.

A modela înseamnă a stabili un model care să fie în corespondenţă biunivocă, sub anumite aspecte, cu sistemul fizic original la care se referă. Modelul constituie o imagine mai mult sau mai puţin completă a originalului, în sensul că anumite stări şi transformări ce au loc în original pot fi urmărite pe model, concluziile scoase în evidenţă cu ajutorul modelului fiind valabile şi pentru sistemul original.

Este important de relevat faptul că cu cît corespondenţa dintre model şi original este mai completă, cu atît modelul devine mai complex şi, de la un anumit punct, impracticabil. Pe de altă parte, un model prea simplificat poate deveni, de asemenea, inutil datorită îndepărtării sale inacceptabile faţă de original.

Realizarea modelului, desigur, are la bază cunoştinţele dobîndite pînă în etapa respectivă despre sistemul original. De aceea, pentru a putea concepe şi realiza modelul cel mai adecvat, cercetătorul trebuie să depună, în primul rînd, o activitate temeinică de documentare şi studiu teoretic şi, în al doilea rînd, să stabilească precis ce urmează să se obţină cu ajutorul modelului. În continuare, după ce modelul adecvat a fost conceput şi realizat, cu ajutorul lui se pot descoperi aspecte noi, valoroase, ce au loc în original. Dar tot aşa de bine este posibil ca modelul să determine stabilirea unor concluzii eronate faţă de ceea ce se întîmplă în realitate, ceea ce înseamnă fie că cunoştinţele din etapa respectivă despre sistemul original au fost insuficiente, fie că modelul nu a fost bine conceput. Istoria dezvoltării ştiinţei oferă multe exemple de concluzii eronate deduse pe baza unor anumite concepţii, unui anumit mod de reprezentare sau, altfel spus, de modelare a realităţii obiective.

2. Procedee şi metode de modelare. Prin procedeu de modelare se înţelege un ansamblu de metode de modelare care au anumite trăsături comune. Procedeele de modelare pot fi clasificate după cum urmează:

2.1. *Modelarea prin similitudine.* Prin noţiunea de similitudine se înţelege proprietatea a două obiecte sau fenomene de aceeaşi natură de a putea fi puse, în total sau în parte, în corespondenţă biunivocă astfel încît înmulţind valorile mărimilor care caracterizează primul obiect sau fenomen cu factori reali şi pozitivi să se obţină valorile mărimilor corespondente care caracterizează al doilea obiect sau fenomen. Din această definiţie rezultă că procedeul de modelare prin similitudine se referă la obiecte sau fenomene de aceeaşi natură, adică între original şi model există diferenţe numai în ceea ce priveşte scara de reprezentare a mărimilor şi nu în ceea ce priveşte natura acestor mărimi.

Metodele principale de modelare prin similitudine sînt:

a) Modelarea prin similitudine geometrică. În acest caz, modelul diferă de original prin dimensiunile sale geometrice, care, de obicei, sînt reduse într-o anumită proporţie faţă de cele ale originalului.

În practica curentă, aceste modele sînt cunoscute sub denumirea de *machete*, fiind larg răspîndite în construcţii, amenajări şi sistematizări etc.

*) N. Bogoevici este conferenţiar în cadrul Institutului politehnic din Timişoara.

Similitudinea geometrică nu condiţionează existenţa unei similitudini fizice, de desfăşurare a fenomenelor din model faţă de cele din original. De aceea, prin aplicarea acestei metode de modelare, se poate urmări numai formarea unei păreri de ansamblu asupra obiectelor reprezentate prin model.

b) M o d e l a r e a p r i n s i m i l i t u d i n e f i z i c ă. Prin această metodă se obţin modele prin care se realizează reproducerea la o altă scară a esenţei fizice a fenomenelor ce au loc în anumite sisteme. Modificarea scării de reprezentare a modelului faţă de original se referă în principal la schimbarea cantitativă a parametrilor fizici ai originalului, natura şi modul de desfăşurare a fenomenelor din model fiind aceleaşi ca la original. Este adevărat, însă, că aceasta înseamnă totodată şi schimbarea dimensiunilor geometrice, ceea ce nu constituie însă latura esenţială a metodei.

Modelarea prin similitudine fizică este cunoscută şi sub denumirea de m o d e l a r e f i z i c ă.

Modelele fizice pot fi complete sau incomplete. Un model fizic este complet atunci cînd reproduce în spaţiu şi în timp, la o anumită scară, desfăşurarea fenomenelor fizice ce au loc în original. De exemplu, o maşină electrică de putere mică se poate afirma că în timpul funcţionării sale reproduce complet, dar, cantitativ redus fenomenele electromagnetice, electromecanice şi termice ce au loc într-o maşină electrică de acelaşi tip, dar de putere mai mare.

Modelele fizice incomplete asigură similitudinea proceselor numai din anumite puncte de vedere. De exemplu, un model de reţea realizat prin această metodă, în laborator, este un model fizic incomplet, deoarece asigură numai similitudinea variaţiei curenţilor, tensiunilor, puterilor etc., fără a reproduce însă nici în spaţiu şi nici în timp cîmpul electromagnetic.

Modelarea prin similitudine fizică este relativ costisitoare, deoarece modelul trebuie să conţină în bună parte toate detaliile constructive ale originalului.

2.2. *Modelarea analogică.* Procedeul de modelare analogică se bazează [6], [9] pe existenţa unor procese fizice de natură diferită, de exemplu mecanice, electromagnetice, termice etc., care sînt însă descrise cu ajutorul unor relaţii ce nu îşi schimbă forma de la un proces la altul, ci numai parametrii pe care îi conţin. Aceste procese sînt analoge între ele, respectiv sistemele fizice cărora le aparţin se modelează reciproc.

Analogia poate fi totală sau parţială, după cum se referă la toate aspectele caracteristice ale proceselor analoge sau numai la o parte din aceste aspecte.

Modelele realizate pe această cale permit studiul indirect, transpus dintr-un domeniu în altul al fizicii, al proceselor ce au loc în sistemele originale.

Modelarea analogică se realizează prin următoarele două metode principale :

a) M o d e l a r e a a n a l o g i c ă f i z i c ă. În acest caz, se are în vedere analogia ce există între fenomene fizice de natură diferită, dar exprimate prin relaţii matematice de aceeaşi formă. Din punct de vedere fenomenologic, procesele respective se modelează reciproc, între parametrii lor existînd o anumită corespondenţă. Cu alte cuvinte, modelul analogic fizic reproduce esenţa fizică transpusă în alt domeniu a fenomenelor din sistemul original.

Această metodă de modelare este cunoscută şi sub denumirea de simulare, modelul respectiv numindu-se *simulator.*

S-a dovedit a fi convenabil ca modelarea prin analogie să folosească ca model circuite electrice în regim staţionar sau în regim tranzitoriu, deoarece acestea sînt simplu de realizat iar parametrii lor uşor de măsurat şi modificat pentru a studia diferite aspecte şi variante. Fenomenele electrocinetice şi electromagnetice ce au loc în astfel de circuite sînt analoge cu multe alte fenomene fizice de altă natură.

Rezultatele obţinute prin aplicarea modelării analogice fizice corespund cu realitatea în măsura în care relaţiile scrise pentru cele două categorii de fenomene analoge corespund realităţii acestor fenomene. Or, este cunoscut că exprimarea prin relaţii matematice a unui fenomen presupune introducerea unor aproximaţii care, în general, sînt acceptabile, dar care, în anumite situaţii, pot introduce şi anumite erori.

b) M o d e l a r e a a n a l o g i c ă d e c a l c u l. Această metodă se bazează pe folosirea unui sistem tehnic, denumit calculator analogic, construit pentru efectuarea operaţiilor matematice cuprinse în relaţiile prin care se exprimă starea şi evoluţia în timp a fenomenelor din sistemul original. În general, aceste relaţii sînt ecuaţii algebrice sau diferenţiale pe care calculatorul analogic le rezolvă ţinînd seama de variaţia mărimilor perturbatoare (mărimi de intrare) şi de condiţiile iniţiale, soluţia fiind redată, de obicei, sub forma unor oscilograme care arată modul de variaţie în timp a mărimilor fizice urmărite (mărimi de ieşire).

Un calculator analogic modern oferă multiple posibilităţi de modelare a rezolvării unor ecuaţii algebrice, ecuaţii diferenţiale sau cu derivate parţiale, corespunzătoare unor sisteme liniare sau neliniare. Modificarea parametrilor sistemului studiat se realizează foarte uşor la calculator, prin schimbarea simplă a unor circuite şi a valorilor unor constante, ceea ce oferă economicitate şi rapiditate în găsirea soluţiei optime. Trebuie relevat, însă, faptul că structura schemei unui calculator analogic

nu imită, nici măcar pe grupuri de elemente, structura sistemului fizic original. Desfășurarea fenomenelor din calculator nu este analogă cu desfășurarea fenomenelor din sistemul original. Analogia se referă la modul de variație în timp a mărimilor de intrare și de ieșire din calculator, respectiv din sistemul fizic studiat.

2.3. *Modelarea logică.* Prin activitatea de cercetare a realității obiective a unei stări sau fenomen din natură se ajunge la un anumit nivel de cunoaștere al acestei realități, corespunzător etapei respective de dezvoltare a științei și tehnicii. Despre starea și evoluția fenomenului se formează un anumit concept logic, în concordanță cu constatările din decursul cercetării. Cu alte cuvinte, se stabilește un anumit mod de reprezentare a realității obiective care poartă denumirea de model logic.

Modelul logic format poate fi materializat [7] într-o formă sau alta în funcție de necesități și de natura stării sau fenomenului la care se referă și are scopul, pe de o parte, să permită o explicație intuitivă a celor ce se întîmplă în realitate și, pe de altă parte, să mijlocească efectuarea unor noi investigații.

Dintre exemplele de modele logice mai reprezentative se pot cita următoarele : modelul atomului material, care reprezintă atomul sub forma unui sistem planetar în miniatură ; modelul electronic al celulei nervoase ; calculatorul electronic cifric care, pe baza operațiilor matematice și logice ce le execută, poate fi considerat ca un model logic destul de incomplet al creierului omenesc.

Calculatoarele sînt acordate pentru a funcționa conform unui anumit program, materializat printr-o schemă de operații elementare matematice și logice pe care trebuie să le efectueze pentru a furniza date în legătură cu starea și evoluția sistemului fizic luat în studiu.

2.4. *Modelarea matematică.* Procedeul de modelare matematică a unei realități obiective se referă în esență la stabilirea unui model abstract al acestei realități pe baza căruia, cu ajutorul metodelor matematice adecvate, să se poată scrie relațiile care leagă mărimile fizice între ele și prin care se determină starea și evoluția sistemului fizic original.

Modelarea matematică presupune un înalt grad de abstractizare și idealizare a realității, în model reținîndu-se numai ceea ce este esențial, lăsînd la o parte unele aspecte care se consideră secundare din punctul de vedere al scopului urmărit. Cu cît elementele reținute în model sînt mai puține și mai generale, cu atît modelul matematic este mai simplu.

Modelele matematice se reprezintă, de obicei, prin anumite simboluri convenționale, fiecare simbol avînd un anumit corespondent fizic.

Trebuie relevat faptul că studiul matematic al realității reprezentate prin modelul matematic poate fi făcut pe diferite căi, deoarece matematica oferă diferite metode de investigație. Aceste metode, respectînd cele afirmate mai sus, sînt analoge între ele deoarece toate urmăresc același scop și în final conduc la același rezultat.

Folosirea uneia sau alteia din aceste metode este determinată de simplicitatea pe care o oferă pentru calculul analitic al problemei studiate precum și de modul cum pot fi scoase în evidență anumite aspecte caracteristice ale fenomenelor ce au loc.

În încheiere la cele prezentate mai sus, în legătură cu procedeele și metodele de modelare, precum și cu metodele de calcul matematic, nu trebuie trasă concluzia că aceste procedee și metode se exclud reciproc. Dimpotrivă, se dovedește că ele se interferează și se completează reciproc, oferind cercetării diferite căi și mijloace de investigație.

3. Despre modelarea sistemelor electrice de putere. În prezent, sistemele electrice de putere, care înglobează : generatoare și motoare electrice, linii de transport și stații de transformare etc., au devenit sisteme complexe și deosebit de importante pentru întreaga economie națională. Proiectarea și realizarea acestor sisteme cu parametrii ridicați, precum și funcționarea lor în condiții optime constituie preocuparea unor colective largi din instituții și întreprinderi.

Complexitatea și puterea sistemelor electrice de putere nu îngăduie ca lucrările de investigație și cercetare să se efectueze direct asupra lor, deoarece aceasta ar fi foarte costisitor. În condițiile tehnicii actuale, determinarea soluțiilor optime de proiectare, realizare și exploatare se face în mod indirect, folosind în acest scop diferite modele ale sistemelor electrice de putere. Problema care se pune este de a alege procedeul și metoda de modelare cele mai adecvate, astfel încît concluziile ce se obțin să fie reale și cuprinzătoare. Nu se pot da reguli generale referitoare la alegerea și construcția modelelor pentru sistemele electrice de putere deoarece un anumit procedeu sau metodă de modelare se referă întotdeauna la un aspect concret, static sau dinamic, al problemei urmărite.

Modelarea prin similitudine fizică este utilizată pe scară largă pentru studiul și proiectarea sistemelor electrice de putere, mai ales a sistemelor de acționare electrică pentru diferite mașini și instalații industriale, precum și a liniilor de transport de energie electrică. Aceste modele se realizează în laborator și cu ajutorul lor se stabilesc și se verifică caracteristicile statice și dinamice ale variantelor luate în considerare pentru aplicare. Metoda

prezintă avantajul că permite să se urmărească, la o scară mai redusă din punct de vedere al puterii, modul de comportare al componentelor sistemului, precum și al ansamblului, în diferite condiții și pentru diferiți parametri. Pe de altă parte, însă, prezintă și anumite dezavantaje. În primul rînd, este dificil, practic, să se modeleze fizic cît mai complet sistemele complexe, deoarece sînt necesare mașini, aparate și instalații de laborator tot atît de complexe ca și pentru sistemul studiat, partea de automatizare fiind, de regulă, modelată la scara 1 : 1. În al doilea rînd, pentru fiecare soluție concepută trebuie realizat un alt model fizic, ceea ce face ca această metodă să fie costisitoare. Din aceste motive, se poate aprecia că în viitor studiul sistemelor electrice de putere, care vor deveni tot mai complexe, va fi orientat spre folosirea altor procedee de modelare decît cel al similitudinii fizice.

În ce privește modelarea sistemelor electrice de putere prin metoda analogiei fizice, se poate preciza că există posibilitatea să se conceapă și să se realizeze anumite modele, mai ales sub forma unor circuite electrice, cu ajutorul cărora se pot studia unele fenomene tranzitorii și, eventual, staționare ce au loc în sistemul original. De exemplu, pentru studiul încălzirii unei mașini electrice în timpul funcționării se poate folosi ca model o rețea de circuite electrice, curenții și potențialele din laturile și nodurile rețelei corespunzînd cu fluxul de căldură și încălzirea din diferite secțiuni și puncte ale mașinii. Pentru modelarea mașinii de lucru la un sistem de acționare electrică se folosește de obicei modelul analogic fizic, realizat cu un generator electric de sarcină, sau cu o frînă mecanică, care provoacă la arborele motorului același cuplu rezistent ca și mașina de lucru.

În prezent, ca urmare a perfecționării și extinderii utilizării calculatoarelor electronice analogice și cifrice, acestea sînt folosite [2] tot mai mult și pentru modelarea, sub diferite aspecte, a sistemelor electrice de putere. Modelele analogice de calcul și modelele logice care se pot realiza cu ajutorul acestor calculatoare permit studierea unor probleme importante ale acestor sisteme, ca : procese tranzitorii și staționare, stabilitatea statică și dinamică, circulația și repartiția puterilor etc. Cu ajutorul calculatoarelor se efectuează lucrări de proiectare a mașinilor electrice, liniilor de transport de energie electrică etc.

În momentul de față, numeroase colective din țară și străinătate se ocupă de sistemele electrice neliniare. Neliniaritatea, pe de o parte, și complexitatea acestor sisteme, pe de altă parte, constituie probleme dificile a căror depășire este practic imposibilă fără folosirea calculatoarelor electronice.

Pe de altă parte, calculatoarele electronice, utilizate direct în urmărirea și dirijarea proceselor de producție, permit realizarea unor sisteme autoadaptive, în ceea ce privește stabilirea parametrilor și soluțiilor optime de funcționare.

Trebuie însă precizat că pentru modelarea sistemelor electrice de putere cu ajutorul calculatoarelor electronice este necesar mai întîi să se realizeze o modelare matematică a acestor sisteme și a proceselor ce au loc, ceea ce constituie punctul dificil al operației de modelare. Pe această bază se stabilesc în continuare operațiile matematice precum și deciziile logice pe care trebuie să le îndeplinească calculatorul.

Concluzii. În prezent, în activitatea de cercetare științifică și de proiectare se folosesc în mod concret diferite procedee și metode de modelare. Aceste procedee și metode au anumite particularități prin care se deosebesc sau prin care se aseamănă între ele și a căror cunoaștere este necesară pentru a avea o vedere de ansamblu asupra modelării în general și a posibilităților de aplicare în particular.

Cercetarea științifică și de proiectare în domeniul sistemelor electrice de putere folosește, ca metode de investigație și de calcul, modelarea prin similitudine fizică, modelarea prin analogie fizică și, recent, modelarea cu ajutorul calculatoarelor electronice. Pentru rezolvarea problemelor mai complexe ale acestor sisteme se recurge de multe ori la îmbinarea procedeelor și metodelor de modelare, ca urmare a faptului că aceste procedee și metode se completează reciproc și oferă cercetării și calculului un cîmp mai larg de acțiune.

Problemele importante care se ridică [1] la conceperea și realizarea unui model sînt următoarele :

— stabilirea modelului care să corespundă calitativ scopului urmărit,

— în model să fie incluse pe cît posibil toate informațiile cunoscute apriori,

— investigațiile cu ajutorul modelului să conducă la obținerea informațiilor care lipsesc,

— estimarea corectă în model a neliniarităților,

— aproximarea corectă a unui sistem complex printr-un model mai simplu etc.

Rezolvarea acestor probleme depinde în mare măsură de experiența și rutina pe care o are în acest sens cercetătorul, precum și utilajele de care dispune.

Bibliografie

[1] Eykhoff, P., van der Grinten, P.M.E., Kwakernaak, H. și Veltman, B. P. Th. *Modelarea și identificarea sistemelor* . Lucrările Congresului IFAC, Londra, 1966.

[2] Kogan, B. Ia. *Dispozitive electronice de modelare și folosirea lor pentru studiul sistemelor de reglare automată.* Editura Tehnică, București, 1964 (traducere din limba rusă).
[3] Raițin, T. M. *Dispozitive de calcul analogic în automatică.* Editura Tehnică, București, 1967 (traducere din limba rusă).
[4] Oppelt, W. *Tehnica reglării automate.* Editura Tehnică, București, 1965 (traducere din limba rusă).
[5] Goruskin, V. I. *Efectuarea calculelor energetice cu ajutorul mașinilor de calcul.* Editura Tehnică, București, 1963 (traducere din limba rusă).
[6] Walter, J. Karplus și Walter W. Soroka. *Analog Methods. Computation and Simulation.* McGraw-Hill Book Company Inc., New York, Toronto, Londra, 1958.
[7] Nicolau, Ed. *Modelarea activității logice. Materialismul dialectic și științele naturii,* vol. X, 1965.
[8] Săhleanu, V. *Despre valoarea teoretică și practică a modelelor. Materialismul dialectic și științele naturii,* vol. X, 1965.
[9] * * * Lexiconul tehnic român.

(Articol intrat în redacție la 16 aprilie 1968)

—— o ——

ORGANIZAREA ȘTIINȚIFICĂ A PRODUCȚIEI ÎN SECTORUL ENERGETIC

Metode moderne pentru amplasarea obiectelor de organizare de șantier

Ing. A. Măcriș *)

Organizarea șantierului și a lucrărilor de montaj al centralelor termoelectrice depinde în primul rînd de forma în care se livrează echipamentele.

În majoritatea cazurilor, echipamentul termomecanic se livrează sub formă de subansamble și detalii, care nu au fost supuse unei asamblări de control și nici probelor la fabrica furnizoare (în afară de turbine și pompe). În felul acesta, șantierul de montaj apare ca o prelungire a ciclului de fabricație a echipamentului, căruia i se fac asamblarea și montajul, probele, verificarea și darea în exploatare. Metoda folosită pe șantierele noastre pentru operațiile de mai sus este metoda în fluxuri și ea impune o anumită organizare de șantier.

Se mai utilizează și metoda de organizare a șantierului pe categorii de obiective: ateliere, magazii etc.

Organizarea șantierelor de montaj pe principiul fluxurilor tehnologice se caracterizează prin aceea că echipamentele și confecțiile metalice ce urmează să se monteze într-o anumită secție tehnologică parcurg, de la descărcarea lor din vagoane și pînă la montaj, un drum liniar, cît mai scurt, cu un minim de căi de comunicații și de operații de manipulare-transport. În același timp, pe acest circuit se efectuează și toate operațiile de sortare, transport și pregătire în vederea asamblării. Un asemenea parcurs, la sfîrșitul căruia se realizează montajul propriu-zis, constituie, de fapt, un flux creat pentru fiecare secție tehnologică importantă a șantierului de montaj.

Pentru a realiza această organizare, platformele de depozitare și cele de asamblare se înseriază, astfel ca să fie deservite de o cale ferată comună, precum și de o singură macara-portal, care asigură descărcarea din vagon, transportarea în și din depozit și manevrarea pentru asamblare. În același timp, se are în vedere ca depozitarea echipamentelor pe platforme să se facă în ordinea tehnologică corespunzătoare succesiunii necesare la asamblarea și montarea lor.

De exemplu, în cazul șantierului de montaj al termocentralei din figura 1, se observă că există două fluxuri tehnologice: unul pentru sala cazanelor, iar al doilea pentru sala turbinelor. Fluxul sălii cazanelor începe cu depozitul de echipament de la care acestea trec pe platforma de asamblare, unde se vor așeza în ordinea tehnologică a asamblării. Ultima etapă o constituie asamblarea lor pe stand. Fluxul tehnologic prezintă un caracter mobil, echipamentul parcurgînd continuu drumul de la descărcare la montaj. Doar în două puncte importante ale sale, unde echipamentul suferă transformări tehnologice (la standul de asamblare și locul de montaj), fluxul își schimbă caracterul — obiectul fiind staționar, iar mijloacele de producție folosite de unitatea de montaj defilează prin fața sa.

Structura organizării de șantier reflectă metoda de lucru expusă mai sus. Astfel, platformele, magaziile și șopronele pentru depozitarea echipamentului tehnologic, platformele de preasamblare și macaralele sînt amplasate în aceeași succesiune ca și aceea a fluxului de echipamente. Prin urmare, fluxul echipamentului de la depozit la locul de montaj este transformat în flux tehnologic de preasamblare.

Metoda de preasamblare în flux staționar presupune ca obiectivele provizorii, care deservesc acest flux, să fie în imediata apropiere a standului de preasamblare. Este vorba de posturile mobile de sudură (conținînd 4—6 aparate de sudură), de depozitul cald de electrozi, de stațiile de tratament termic și de laboratorul de sudură.

Pentru tăierea și sudarea oxiacetilenică se amplasează în apropierea standului de preasamblare stațiile mobile de oxigen și de acetilenă, de la care pleacă distribuția prin conducte atît la platforma de preasamblare, cît și la platformele de montaj. Pentru același motiv, stația de compresoare mobile se amplasează în rînd cu obiectivele arătate mai sus. Stația de beton refractar este amplasată lîngă magazie și șopronul de materiale refractare, iar betonul refractar se transportă cu vagonete pe calea ferată spre standul de preasamblare pentru înzidirea la sol a blocurilor.

Fluxul de echipamente pentru sala turbinelor este identic cu fluxul expus pentru sala cazanelor.

Ca obiective de deservire, în afara celor arătate la standurile de preasamblare a cazanului, apar magazia de materiale de izolație termică și atelierul de izolații și tinichigerie.

Mai apar atelierul pentru verificat armăturile înainte de montarea lor în tronsonul preasamblat de conducte și atelierul mecanic, unde se execută flanșele. Atelierul mecanic și forja sînt situate, de regulă, în apropierea magaziei centrale de materiale.

Pentru confecțiile metalice care se execută pe șantier, precum și pentru îndoirea țevilor ce se fasonează pe șantier, se instalează un atelier de confecții metalice și o instalație de îndoit țevi, compusă din turn, cuptor și placă de îndoit.

Postul de transformare, de tip șantier, demontabil, se amplasează în centrul de greutate al lucrărilor.

Dacă organizarea se face pe categorii de obiective, atelierele se grupează într-o zonă, magaziile de materiale în altă zonă, gospodăria de betoane refractare și de înzidiri, precum și gospodăria de instalații termice în altă zonă, în alta stații centralizate de oxigen și acetilenă etc.

În figura 1 (*a* și *b*) se arată organizarea unui șantier prin ambele metode.

La ambele metode se pune problema amplasării optime a obiectivelor provizorii de organizare de șantier.

Organizarea de șantier în flux continuu conduce la scurtarea rețelelor de comunicație provizorii (căi ferate, drumuri), a rețelelor provizorii de energie (electrică, aer comprimat, oxigen, acetilenă); în schimb, conduce la lungirea căilor de rulare a macaralelor-portal.

*) Ing. Anatol Măcriș este directorul tehnic al Întreprinderii „Energomontaj".

Pentru compararea celor două moduri de organizare, din punctul de vedere al organizării de şantier, trebuie calculat soldul acestor diferenţe de costuri.

În ceea ce priveşte cheltuielile lucrărilor de bază, şi anume cheltuielile de transport şi manipulare, acestea se pot minimiza în ambele metode de organizare de şantier, folosind metoda minimizării volumului lor prin amplasarea corespunzătoare a obiectivelor de şantier.

Obiectivele de organizare de pe şantier $A-G$ trebuie astfel amplasate în zonele disponibile H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 H_6 şi H_7 (în varianta I) şi K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6 şi K_7 (în varianta II), încît volumul total al transporturilor să fie minim.

Se consideră că obiectivele de organizare de şantier $A-G$ nu sînt în relaţii reciproce între ele şi emit produse numai spre punctele de consum Z_1-Z_5.

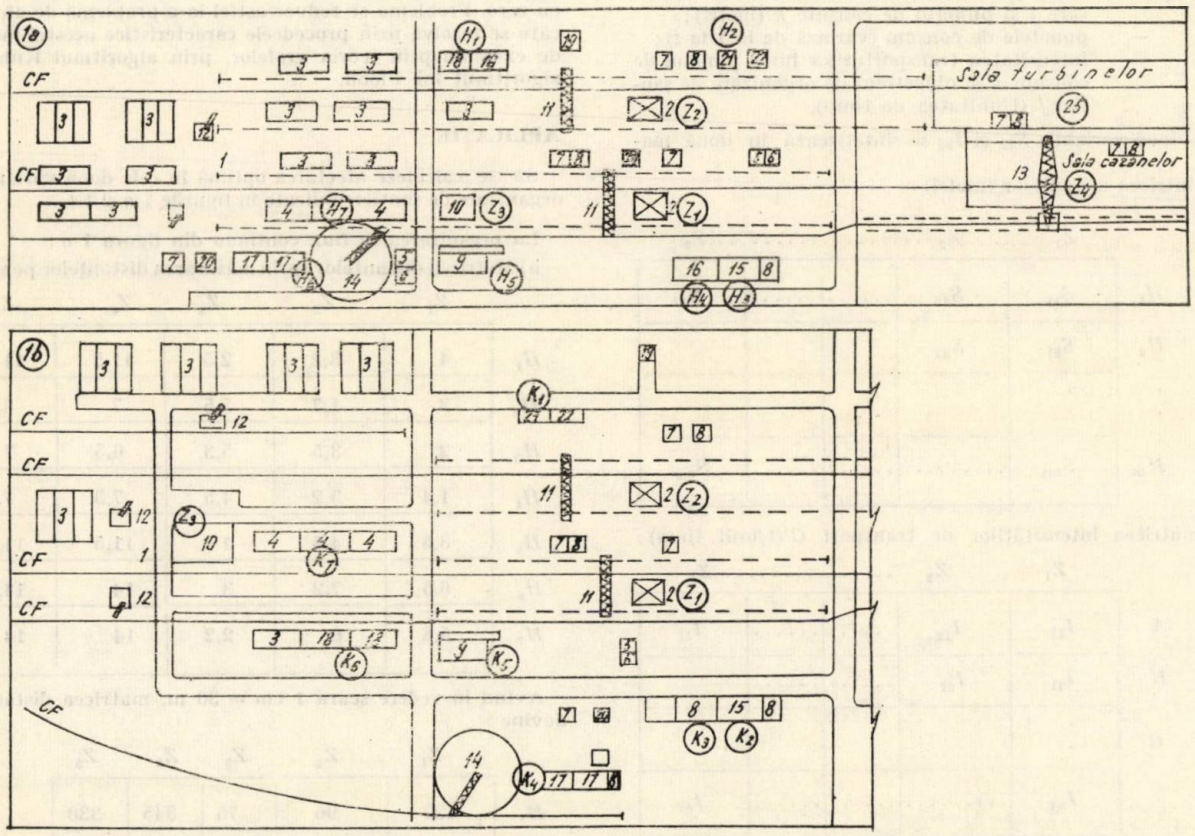


Fig. 1. Organizarea şantierului: *1 a* — în fluxuri tehnologice; *1 b* — pe categorii de obiective:

1 — depozit deschis de echipamente; *2* — stand de preasamblare; *3* — magazii şi şoproane echipamente; *4* — magazii pentru materiale de inzidire şi izolaţie; *5* — staţie mobilă de oxigen; *6* — staţie mobilă de acetilenă; *7* — post de sudură; *8* — staţie de tratament termic; *9* — magazie centrală de materiale; *10* — staţie de betoane şi mortare refractare; *11* — macara-portal; *12* — macara pe şenile; *13* — macara-turn 30 tf; *14* — macara Derrick 15 tf; *15* — atelier mecanic; *16* — atelier pentru armături; *17* — atelier pentru confecţii metalice şi îndoit ţevi; *18* — atelier de izolaţii termice şi tinichigerie; *19* — post trafo; *20* — staţie de compresoare; *21* — depozit cald de electrozi; *22* — laborator de sudură şi metalografie.

Ajungîndu-se la soluţii optime în ambele variante, se compară cele două valori ale funcţiei-obiectiv (volum minim de transport), calculîndu-se diferenţa de costuri între cele două variante.

Metodologia amplasării optime a obiectivelor de organizare

Obiectivele provizorii care se iau în considerare sînt:
A — magazia de materiale (indicativul *9*, în figura 1);
B — magazia de materiale refractare (*4*);
C — depozitul de electrozi (*21*);
D — magazia şi atelierul de izolaţii termice (*18*);
E — atelierul de verificat armături (*16*);
F — atelierul mecanic (*15*);
G — atelierul de confecţii metalice (*17*).

Produsele acestor obiective se transportă la punctele de consum:

Z_1 — stand de preasamblare pe platforma 1 (indicativ *2*);
Z_2 — stand de preasamblare pe platforma 2 (*2*);
Z_3 — staţia de betoane refractare (*10*);
Z_4 — zona de montaj — sala cazanelor;
Z_5 — zona de montaj — sala maşinilor.

Modelul matematic este următorul:
Funcţia-obiectiv:

$$[min]\ Y = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} Q_{ij} \cdot X_{ij},$$

cu restricţiile:

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \ldots, m),$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \ldots, m),$$

în care $$X_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (i,j = 1, 2, \ldots, m),$$

Q_{ij} este volumul de transport care trebuie realizat cînd obiectivul j este amplasat în zona i (tm/unitatea de timp);

X_{ij} — factor care indică dacă obiectivul j este amplasat în zona i.

Volumul de transport se calculează astfel:

$$Q_{ij} = \sum_{k=1}^{z} I_{k,j} \cdot S_{ik},$$

în care

S_{ik} reprezintă distanța de transportat între zona de amplasare i și punctul de consum k (metri);
k — punctele de consum (variază de la 1 la z);
I_{kj} — intensitatea transporturilor între punctul de consum k și obiectivul de organizare de șantier j (t/unitatea de timp).

Cele două variabile S_{ik} și I_{kj} se sintetizează în două matrice:

a) Matricea distanțelor (metri):

$S_{ik} =$

	Z_1	Z_2			Z_k
H_1	S_{11}	S_{12}	.....	.....	S_{1k}
H_2	S_{21}	S_{22}			
.	.				
.	.				
H_m	S_{m1}	.....	.....	.....	S_{mk}

b) matricea intensităților de transport C (t/unit. timp):

$I_{kj} =$

	Z_1	Z_2			Z_k
A	I_{11}	I_{12}	.....	.....	I_{1k}
B	I_{21}	I_{22}	.....	.....	
C	.				
	.				
	I_{n1}	.....	.....	.....	I_{nk}

Cu ajutorul celor două matrice se calculează matricea volumelor transporturilor — Q_{ij} — care este o matrice pătratică, ce se obține după cum urmează:

					H_1	H_2		H_m
				Z_1	H_{11}	.....	.....	S_{m1}
				Z_2	.			
				.	.			
				.	.			
	Z_1	Z_2		Z_k	S_{1k}	.....	.....	S_{mk}
A	I_{11}	...	...	I_{1k}	Q_{11}	.....	.....	Q_{1m}
B								
C								
.	I_{m1}	...	...	I_{mk}	Q_{m1}	.....	.....	Q_{mm}
.								

$$Q_{11} = I_{11} \cdot S_{11} + I_{12} \cdot S_{12} + \ldots + I_{1k} \cdot S_{1k}$$
$$\vdots$$
$$Q_{1m} = I_{11} \cdot S_{m1} + I_{12} \cdot S_{m2} + \ldots + I_{1k} \cdot S_{mk}$$
$$\vdots$$
$$Q_{m1} = I_{m1} \cdot S_{11} + I_{m2} \cdot S_{12} + \ldots + I_{mk} \cdot S_{1k}$$
$$\vdots$$
$$Q_{mm} = I_{m1} \cdot S_{m1} + I_{m2} \cdot S_{m2} + \ldots + I_{mk} \cdot S_{mk}$$

În matricea pătratică a volumelor de transport Q_{ij} (cu linie groasă) se pune problema de a alege, din fiecare coloană și din fiecare linie a matricei, un element, astfel încît să apară pe fiecare coloană și fiecare linie cîte un singur element, iar suma acestor elemente Q_{ij} să fie minimă. Pentru repartițiile alese, X_{ij} sînt egale cu unitatea, pentru cele nealese cu zero. Problema se reduce astfel la o problemă de afectare, care se rezolvă prin procedeele caracteristice acestei metode, de exemplu prin teoria grafelor, prin algoritmul Kuhn sau algoritmul lui Flood.

APLICAȚIE

Să se calculeze afectarea optimă în cele două variante de organizare de șantier indicate în figurile 1 *a* și 1 *b*.

La organizarea în flux continuu din figura 1 *a*:

a) Matricea distanțelor (prin măsurarea distanțelor pe schiță)

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
H_1	4	3,2	2,5	11,5	11
H_2	3	1,7	5,5	7	6,5
H_3	2	3,5	5,3	6,5	7
H_4	1,4	3,2	4,5	7,3	7,8
H_5	3,5	4,5	1	11,5	11,8
H_6	6,5	7,2	3	14	14,5
H_7	5,8	6	2,2	14	14

Avînd în vedere scara 1 cm = 30 m, matricea distanțelor devine:

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
H_1	120	96	75	345	330
H_2	90	51	165	210	195
H_3	60	105	159	195	210
H_4	42	96	135	219	234
H_5	105	135	30	345	354
H_6	195	216	90	420	435
H_7	174	180	66	420	420

(în metri)

b) Matricea intensităților (t/zi):

$I_{kj} =$

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
A	0,25	0,15	1	0,125	0,07
B	0	0	5	0,6	0
C	0,1	0,05	0	0,1	0,07
D	0	0	0,1	0,2	0,2
E	0,01	0,05	0	0,1	0,2
F	0,05	0,1	0	0,2	0,3
G	0,3	0,5	0	0,3	1

c) Matricea volumelor (tm/zi) (tabela 1):

	A	B	C	D	E	F	G
Z_1	0,25	0	0,1	0	0,01	0,05	0,3
Z_2	0,15	0	0,05	0	0,05	0,1	0,5
Z_3	1	5	0	0,1	0	0	0
Z_4	0,125	0,6	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3
Z_5	0,07	0	0,07	0,2	0,2	0,3	1

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5						
H_1	120	96	75	345	330	185,6	582	74,3	142,5	106,5	188,6	517,5
H_2	90	52	165	210	195	234	951	46,2	97,5	63,5	110,2	311
H_3	60	105	159	185	210	218,8	912	45,45	96,9	67,35	115,5	336,7
H_4	42	96	135	219	234	203,5	806	47,2	104	53,9	125,7	364,8
H_5	105	135	30	345	254	184,4	357,3	78,5	142,8	113,1	184,9	556,5
H_6	195	216	90	420	435	253,5	702	102,7	180	141,7	245,8	667,5
H_7	174	182	66	420	420	218,5	582	97,8	174,6	136,7	236,7	688

Tabela 1. Matricea volumelor (tm/zi).

Această matrice se rezolvă cu algoritmul lui Kuhn (tabela 2) şi se obţine afectarea optimă:

$A \rightarrow H_1$	cu volumul zilnic	185,6 tm/zi
$B \rightarrow H_5$	,,	357,3 ,,
$C \rightarrow H_6$	,,	102,7 ,,
$D \rightarrow H_7$	,,	174,6 ,,
$E \rightarrow H_4$	,,	53,9 ,,
$F \rightarrow H_3$	,,	115,5 ,,
$G \rightarrow H_2$	,,	311 ,,
Total volum zilnic		1 300,6 ,,

Tabela 2. Aplicarea algoritmului lui Kuhn.

⊙	233,5	27,65	44,4	51,4	72,2	205,3 ×
42,6	593,7	0,75	0,6	9,6	⊙	⊗
44,4	554,7	⊗	⊙	13,45	5,3	27,5
19,1	448,7	1,75	7,1	⊙	15,3	53,8
⊗	⊙	33	45,9	59,2	74,7	245,5
18,85	287,45	⊙	25,85	30,55	73,35	300,25
⊗	200,6	18,25	33,6	48,7	91,9	343,9 ×
×						

a — Se scad elementele minime din coloane şi linii;

⊙	215,25	9,50	22,15	23,15	53,95	187,05 ×
67,85	593,7	0,75	0,6	9,6	⊗	⊙
62,65	554,7	⊗	⊙	13,45	5,3	27,5
37,35	448,7	1,75	7,1	⊙	15,3	53,8
18,25	⊙	33	45,9	59,2	74,7	245,5
40,10	287,45	⊗	25,85	30,55	73,35	300,25 ×
⊗	182,35	⊙	15,35	30,45	73,65	325,65 ×
×		×				

b — Se scade din coloane şi se adaugă la intersecţii elementul minim din tabela netraversată (18,25);

⊙	199,90	9,50	6,80	7,80	38,60	171,70 ×
83,20	593,7	16,10	0,6	9,6	⊙	⊗
78	554,7	15,35	⊙	13,45	5,3	27,5 ×
52,70	448,7	17,10	7,1	⊙	15,3	53,8
33,60	⊙	48,35	45,9	59,2	74,7	245,5
40,10	272,10	⊙	10,50	15,20	58	284,90 ×
⊗	167	⊗	⊗	15,10	58,30	310,30 ×
×		×	×			

c — Idem ca la *b*, şi anume 15,35;

⊙	194,60	9,50	6,80	2,50	33,30	166,40
88,50	593,7	21,40	5,90	9,60	⊗	⊙
78	594,4	15,35	⊗	8,15	⊙	22,20
58	448,7	22,40	12,40	⊙	15,3	53,8
38,20	⊙	53,65	52,20	59,2	74,7	245,5
40,10	266,80	⊙	10,5	9,90	52,70	279,60
⊗	161,70	⊗	⊙	9,80	53	305

d — Idem ca la *b*, şi anume 5,3.

Se constată că, faţă de proiectul iniţial, se indică unele schimbări de amplasamente:

— depozitul central de materiale trece în locul magaziei şi atelierului de tinichigerie;

— atelierul de confecţii metalice în zona H_2;

— magazia de materiale refractare în locul depozitului central de materiale;

— atelierul de tinichigerie în locul magaziei de materiale refractare;

— depozitul de electrozi în locul atelierului de confecţii metalice;

— atelierul mecanic şi de revizuit armături nu-şi schimbă poziţia.

În felul acesta se obţine un volum minim de transport zilnic. Bineînţeles că se pot lua în considerare unele schimbări de amplasamente ţinînd seamă de unele criterii obligate, cunoscîndu-se că se măreşte volumul transporturilor calculîndu-se costurile suplimentare de transporturi.

Se fac aceleaşi calcule şi pentru varianta *II* de organizare de şantier (pe categorii de obiective), din figura 1 *b*.

Matricea intensităţilor de transport (I_{kj}) rămîne aceeaşi.

Matricea distanţelor se schimbă, fiind:

$S_{ik}^{II} = K_4$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
K_1	120	75	135	320	350
K_2	78	126	315	225	198
K_3	66	114	285	246	225
K_4	120	171	225	351	330
K_5	105	135	156	345	354
K_6	165	180	99	414	405
K_7	183	180	66	420	420

$Q_{ij}^{\#}$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	A	B	C	D	E	F	G
						Z_1 0,25	0	0,1	0	0,01	0,05	0,3
						Z_2 0,15	0	0,05	0	0,05	0,1	0,5
						Z_3 1	5	0	0,1	0	0	0
						Z_4 0,125	0,6	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3
						Z_5 0,07	0	0,07	0,2	0,2	0,3	1
K_1	120	75	135	320	350	250,75	867	72,25	147,5	136,9	182,5	519,5
K_2	78	126	315	225	198	395,3	1710	50,4	116,1	69,8	120,9	330,8
K_3	66	114	285	246	225	365	1572	52,6	122,7	75,9	131,4	375,6
K_4	120	171	225	351	330	345,62	1315,6	78,1	158,1	110,8	192	556,8
K_5	105	135	156	345	354	270,4	987	76,3	155,4	114,3	189,2	556,5
K_6	165	180	93	414	405	248,75	1434	32,30	173,7	133	230,5	666,7
K_7	183	180	66	420	420	220,65	1355,4	38,7	174,6	136,8	237,15	690,9

Tabela 3. Matricea transporturilor în varianta *II*.

Matricea transporturilor — Q_{ij} — se arată în tabela 3. Rezolvînd aceste matice cu algoritmul lui Kuhn, se obţine următoarea afectare optimă :

$A \rightarrow K_6$	cu volumul zilnic	248,7 t/zi
$B \rightarrow K_7$	cu volumul zilnic	355,4 t/zi
$C \rightarrow K_5$	cu volumul zilnic	76,3 t/zi
$D \rightarrow K_1$	cu volumul zilnic	147,3 t/zi
$E \rightarrow K_4$	cu volumul zilnic	110,8 t/zi
$F \rightarrow K_3$	cu volumul zilnic	131,4 t/zi
$G \rightarrow K_2$	cu volumul zilnic	330,8 t/zi
	Total volum zilnic	1 400,7 t/zi

Se constată că în această variantă volumul de transport zilnic este mai mare cu circa 7,6%.

Concluzii. 1. Amplasarea optimă a construcţiilor provizorii de şantier în anumite zone disponibile, în vederea minimizării volumelor zilnice de transport, se poate face utilizînd metodele cercetării operaţionale, în speţă metoda afectării optime.

2. Pentru fiecare sistem de organizare de şantier, în fluxuri sau pe categorii de obiective, această metodă permite stabilirea amplasării optime.

3. Metoda mai permite compararea diferitelor sisteme de organizare de şantier din punctul de vedere al volumului de transporturi.

Bibliografie

[1] Kaufmann, A. *Introduction à la combinatorique.* Dunod, Paris, 1968, 600 p.

[2] Miller, D. W. şi Starr, M. K. *Fonction de direction et recherche operationelle.* Dunod, Paris, 1964, 412 p.

[3] Ackoff, R. şi Sasieni. Y. *Fundamentals of Operations.* Research John Wiley, New York, 1968.

(Articol intrat în redacţie la 19 octombrie 1968)

—— o ——

Note

Discuţie cu privire la siguranţa în alimentare a consumatorilor

În U.R.S.S., din anul 1967 s-a pus în discuţie modul de determinare a pagubelor pricinuite consumatorilor de întreruperea alimentării cu energie electrică. În cadrul acestei discuţii se prezintă diversele aspecte pe care le îmbracă problema în funcţie de poziţia de pe care se cercetează.

În articolul ,,Cu privire la bazele metodologice ale analizei siguranţei în alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale", V. V. Mihailov şi V. I. Edelman arată că în cadrul optimizării alimentării cu energie electrică, siguranţa în alimentare a întreprinderilor industriale este un caz particular, care trebuie determinat pe baza unui model economico-matematic, în care intervin metodele probabilistice. De fapt, această metodă este singura posibilă, deoarece ea permite, folosind legile de distribuţie a mărimilor respective aleatorii, aprecierea caracteristicilor probabilistice de siguranţă în alimentare şi a pagubelor probabile datorite întreruperilor.

La întocmirea modelului matematic trebuie să se ţină seamă de faptul că :

— pagubele datorite întreruperii alimentării, de regulă, au o dependenţă neliniară, funcţie de durata întreruperii ;

— la întreruperea alimentării, indiferent de durata acesteia, apare o dereglare a proceselor tehnologice,apariţia rebuturilor, scurtarea duratei de viaţă a utilajelor, pierdere de forţă de muncă etc., care depind mai mult de întreruperea în sine decît de durata întreruperii.

În cursul anului 1967, Comitetul pentru ştiinţă şi tehnică al U.R.S.S. a elaborat proiectul metodologiei de determinare a pagubelor probabile datorită întreruperilor în alimentarea cu energie electrică, bazat pe principiile generale de calcule tehnico-economice. În această metodologie nu se tratează cazul consumatorilor care nu permit întreruperi şi pagubele indirecte datorită nelivrării producţiei către terţi.

Pagubele se pot împărţi în două grupe : pagube directe, datorite pierderilor, pagube indirecte, datorite nelivrării producţiei. În funcţie de procesul tehnologic, pagubele directe datorite întreruperii se pot prezenta prin relaţia :

$$P_d = P_{d_0} + P_d(t_e) + P_d(t_{teh.}),$$

în care P_d sînt pagubele directe ; P_{d_0} — pagubele directe datorite întreruperii, dar care nu sînt funcţie de durata acesteia ; $P_d(t_e)$ — pagubele pe durata timpului de întrerupere ; acestea, de cele mai multe ori, se pot exprima printr-o relaţie liniară de timp ; $P_d(t_{teh.})$ — pagubele legate de durata restabilirii procesului tehnologic.

În calculele concrete este necesar să se dispună de informaţii certe asupra proceselor tehnologice şi valorilor pagubelor pricinuite. În acest scop, autorii insistă asupra organizării strîngerii informaţiilor statistice prelucrate pentru acest scop.

În articolul ,,Cu privire la calculul pagubelor consumatorilor datorite întreruperilor în alimentare, legat de sarcinile planificării dezvoltării sistemelor energetice", autorii ridică problema introducerii mărimilor aleatorii care intervin în sistemele energetice (avarii, prognoză incorectă, micşorarea puterii disponibile etc.) în aprecierea pagubelor pricinuite de nelivrarea energiei electrice către consumatori. În planificarea dezvoltării sistemului energetic, optimizarea dezvoltării şi în special determinarea rezervei necesare trebuie să ţină cont şi de eventualele pagube pricinuite consumatorilor.

Acest mod de optimizare este specific unei economii socialiste. În articol se prezintă metodologia utilizată în orga-

nizațiile de proiectare pentru determinarea rezervei optime de putere activă în sistem.

Calculul pagubelor ține seamă de pagubele directe care în general sînt funcție de puterea deconectată și la majoritatea întreprinderilor depind și de durata întrepruperii și de pagubele indirecte datorite stagnării, plății salariilor, refacerii procesului tehnologic, micșorării producției etc.

Formula folosită are forma:

$$P = \sum_{1}^{n} (P_{d_i} + P_{ind_i}),$$

în care termenii sînt corespunzători diverselor întreprinderi alimentate de sistemul respectiv.

În calculele de optimizare a rezervei de putere activă trebuie să se țină seamă și de posibilitatea declanșării diferențiate a consumatorilor în funcție de importanța acestora și a volumului pagubelor pricinuite de declanșare. Baza calculului trebuie s-o constituie optimul pe întreaga economie națională ținînd cont atît de investițiile și cheltuielile de exploatare cît și de volumul pagubelor pricinuite.

Articolul „Determinarea rezervei optime de putere activă în sisteme energetice interconectate" prezintă metodologia optimizării alegerii mărimii rezervei în sistemele interconectate prin linii de interconexiune cu capacitate de transport limitată.

În calculul de optimizare, plecînd de la condiția cheltuielilor totale minime pe ansamblul economiei naționale, se iau în considerare următoarele aspecte:

— așteptarea matematică a pierderilor pe perioada respectivă la consumatorii tuturor sistemelor interconectate;

— cheltuielile de calcul legate de investițiile suplimentare pentru instalarea puterii active în perioada respectivă;

— cheltuielile de exploatare legate de instalarea puterii suplimentare pe aceeași perioadă.

Autorii au elaborat, pe baza metodologiei, un algoritm de calcul adaptat calculatorului Ural-2.

M. N. Rozanov, în articolul „Despre optimizarea siguranței alimentării cu energie electrică", reia aceeași problemă din punctul de vedere al aprecierii obiective a pagubelor pricinuite economiei naționale, despărțind problema în două, după natura concretă a sarcinii care trebuie rezolvată. Astfel, autorul propune ca la nivelul calculelor de sistem pagubele să fie evaluate funcție de energia electrică nelivrată, cîtă vreme la cazul concret al alimentării cu energie electrică a unui consumator pagubele să fie introduse în calcule sub toate aspectele pagubelor datorită nelivrării energiei, duratei întreruperii, rebuturilor în producție, plata salariilor etc. Concluzia celor patru articole prezentate este evident necesitatea introducerii informațiilor concrete asupra pagubelor pricinuite în diverse domenii ale economiei naționale în calcule de optimizare efectuate pe calculatoare cu întocmirea unor modele matematice care să țină seamă de factorii care influențează pe întreaga economie națională gradul de siguranță în alimentarea cu energie electrică.

(Din „Izvestiia Akademii Nauk SSSR" — Energhetika i transport, nr. 4, 1968, p. 71—86).

Ing. **Mark Dănilă**

—— o ——

CRONICĂ

Consfătuirea tehnico-științifică: „Supratensiuni și protecția instalațiilor electrice contra supratensiunilor"

În zilele de 8, 9 și 10 noiembrie 1968 a avut loc la Sinaia Consfătuirea tehnico-științifică cu tema: „Supratensiuni și protecția instalațiilor electrice contra supratensiunilor", organizată de Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor (Secția energie electrică) în colaborare cu Ministerul Energiei Electrice.

La consfătuire au luat parte aproximativ 200 specialiști din Ministerul Energiei Electrice, Ministerul Petrolului, M. I. Chimice, Institutul politehnic București, Institutl politehnic Timișoara, Institutul de cercetări electrotehnice etc., care au discutat problemele ridicate de cele 28 lucrări prezentate.

Primele două referate: „Probleme ale protecției împotriva supratensiunilor în sistemul energetic național" și „Stadiul actual de protecție împotriva supratensiunilor a instalațiilor electrice din șantierele petroliere și măsurile ce se vor lua în viitor", prezentate din partea Ministerului Energiei Electrice, respectiv a Ministerului Petrolului, au ridicat problemele specifice sectoarelor respective, indicînd rezultatele obținute pînă în prezent în acțiunea de protecție a instalațiilor contra supratensiunilor și liniile directoare ale cercetării în acest domeniu în perspectivă.

Celelalte 26 referate au fost prezentate de cercetători și cadre tehnice din Întreprinderea pentru raționalizarea și modernizarea instalațiilor energetice (9 referate), Institutul de studii și proiectări energetice (6 referate), Institutul politehnic București (3 referate), Institutul politehnic Timișoara (3 referate), Institutul de cercetări electrotehnice (2 referate), Institutul de energetică al Academiei, Ministerul Căilor Ferate (cîte un referat).

Lucrarea „Asupra studierii unor fenomene de tehnica tensiunilor înalte cu ajutorul teoriei probabilităților și a matematicii statistice", de prof. dr. ing. G. Drăgan, a arătat posibilitățile de utilizare a teoriei probabilităților și a matematicii statistice la studierea unei clase largi de fenomene de tehnica tensiunilor înalte în regim staționar, în regim tranzitoriu cu și fără elemente neliniare.

O primă serie de referate a tratat probleme legate de *supratensiunile atmosferice și protecția contra lor.*

Din această categorie fac parte referatele „Delimitarea zonelor keraunice ale R. S. România", de F. Bădulescu, „Analiza schemelor de protecție a instalațiilor de 6—15 kV", de prof. dr. ing. G. Drăgan, șef lucrări dr. ing. D. Cristescu, „Metode de analiză a schemelor de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice a stațiilor de foarte înaltă tensiune", de dr. ing. A. Cristovici, ing. A. Popescu, ing. N. Popovici, „Cu privire la protecția contra supratensiunilor atmosferice a rețelei de 220 kV din R. S. România", de ing. B. Popa, „Unele aspecte privind comportarea instalațiilor electroenergetice la supratensiuni atmosferice", de ing. L. Săndulescu.

Lucrările au prezentat rezultatele obținute în determinarea parametrilor care caracterizează keraunicitatea țării și intensitatea curentului de trăsnet și rezultatele privind comportarea în exploatare a schemelor de protecție a instalațiilor de înaltă și foarte înaltă tensiune.

În seria de lucrări menționate s-a tratat la un înalt nivel teoretic, utilizînd calculatoarele electronice, metodele de analiză a schemelor de protecție ținînd cont de variația relativ mare a parametrilor caracteristici.

În a doua serie de lucrări s-au tratat probleme de *supratensiuni interne.*

Din această serie fac parte lucrările: „Calculul pas cu pas al supratensiunilor de comutație în sisteme compuse din linii

și elemente concentrate" (teoria generală și aplicație la o linie trifazată), de conf. dr. ing. A. Semlyen și ing. M. Nemeș; „Studiul influenței unor parametri ai schemelor asupra valorii supratensiunilor ce însoțesc deconectarea liniilor de 110—220 kV în gol", de conf. dr. ing. V. Negru; „Supratensiuni posibile pe punctul neutru al transformatoarelor", de ing. D. Mark, ing. D. Necșulescu și ing. S. Velicu; „Asupra fenomenelor de autoexcitație a hidrogeneratoarelor racordate la rețele de înaltă și foarte înaltă tensiune", de ing. D. Necșulescu și ing. N. Popovici; „Supratensiuni de rezonanță provocate de curenții armonici în rețelele de distribuție ale consumatorilor industriali", de ing. A. Bensimon și matematician T. Pușcoci; „Determinarea supratensiunilor interne prin încercări directe în sistemul energetic al R. S. România", de ing. A. Ionescu, ing B. Popa, ing. A. Bensimon și ing. A. Bratu; „Scheme și mijloace de înregistrare a supratensiunilor interne", de ing. B. Popa, ing. R. Goldenberg și ing. A. Bratu.

În lucrările menționate s-a prezentat o serie de metode de determinare prin calcul a supratensiunilor interne folosind calculatoarele electronice; metodele expuse iau în considerație influența diferiților parametri ai schemei asupra valorilor supratensiunilor interne.

De asemenea, s-au prezentat rezultatele obținute prin încercările efectuate direct în sistem precum și aparatura de măsură corespunzătoare.

În a treia serie de referate s-au tratat probleme legate de *coordonarea izolației* din instalațiile de înaltă și foarte înaltă tensiune; dintre acestea fac parte: „Deteminarea nivelului de izolație a liniilor de 220 kV din R. S. România", de ing. B. Popa; „Asupra criteriilor de alegere a descărcătoarelor pentru protecția împotriva supratensiunilor interne", de dr. ing. A. Cristovici, ing. . Bensimon și ing. A. Popescu; „Considerații cu privire la construcția, încercarea și exploatarea descărcătoarelor cu rezistență variabilă", de ing. S. Donici; „Analiza comportării mijloacelor de protecție în exploatare", de ing. D. Launer.

În aceste referate sînt prezentate elementele necesare coordonării izolației (caracteristicile de izolație și caracteristicile de descărcătoare), precum și principiile care trebuie să stea la stabilirea coordonării izolației și rezultatele observațiilor din exploatare.

În a patra serie de referate s-a tratat *baza materială* necesară cercetării; din această serie fac parte: „Construirea unui generator de impulsuri și a unui model de linie coronată", de șef lucrări dr. ing. D. Cristescu și ing. M. Budașcă; „Încercarea echipamentului energetic în condițiile de exploatare", de colectivele TTI de la IRME și ISPE; „Proiectarea și realizarea unei instalații de impuls pentru determinarea nivelelor de protecție a descărcătoarelor cu rezistență variabilă", de prof. dr. ing. G. Drăgan, ing. S. Coatu, ing. N. Golovanov și ing. Mărgineanu Ion; „Problemele încercării echipamentului electrochimic de înaltă tensiune la supratensiuni interne", de ing. Ch. Popescu.

Referatele menționate au prezentat o serie de utilaje proiectate sau realizate și condițiile în care se efectuează probele pentru determinarea caracteristicilor necesare coordonării izolației din rețele.

A cincea serie de referate s-a ocupat de comportarea întreruptoarelor la deconectarea scurtcircuitelor; din acestea fac parte referatele: „Unele aspecte ale tensiunilor de restabilire la bornele întreruptoarelor și posibilitatea de evaluare", de dr. ing. A. Cristovici, ing. A. Bensimon și matematician M. Staadecker; „Influența căderii de tensiune în arc asupra tensiunii de restabilire care apare pe camerele de stingere ale întreruptoarelor tip ortojector", de dr. ing. B. Mathe.

În aceste referate se subliniază importanța caracteristicilor întreruptoarelor și descărcătoarelor pentru stabilirea mărimii și formei supratensiunilor interne, precum și a schemei de conexiune a rețelei, indicîndu-se și metode de limitare a acestor supratensiuni.

Organizarea consfătuirii s-a bucurat de o apreciere unanimă, ea avînd ca rezultat cunoașterea preocupărilor în domeniul tehnicii tensiunilor înalte, realizările obținute pînă în prezent, stabilindu-se totodată colaborări directe între cercetătorii din diferite centre și instituții care lucrează la teme similare.

Consfătuirea a fost apreciată de inginerii din exploatarea instalațiilor, care au făcut cu această ocazie un schimb de experiență asupra metodelor și mijloacelor de protecție contra supratensiunilor.

Importanța consfătuirii a fost atestată de numărul relativ mare de discuții și de nivelul ridicat al acestora.

Participanții au propus organizarea periodică a consfătuirilor avînd teme particulare, iar lucrările cu concluzii practice ale consfătuirii să fie publicate pentru a putea fi folosite de un număr mai mare de cadre tehnice.

Ing. Popa Badea

—— o ——

Recenzii

Economie energetică generală (Általános energiegazdálkodás, Müszaki Konyvkiadó, Budapest, 1968) 392 p., 119 fig., 83 tabele, 493 ref. bibl.

Cartea, redactată într-un stil clar și concis, la un înalt nivel științific, concentrează într-un singur volum problemele foarte complexe ale economiei energetice și umple astfel un gol resimțit în literatura de specialitate din acest domeniu.

Lucrarea este împărțită în 10 capitole, și anume:

Cap. 1. — *Introducere* — în care, după o succintă prezentare istorică a problemelor economiei energetice generale și a locului ei în ansamblul problemelor legate de producția materială, se face o trecere în revistă a principalelor institute de cercetări și a personalităților științifice din diferite țări ale lumii care au preocupări în acest domeniu.

Cap. 2. — *Noțiunea, obiectul și scopul economiei energetice* — în care, după o prezentare a noțiunii de energie ca punct de plecare a celei de economie energetică, se trece la analizarea principială a domeniului de activitate a economiei energetice ca știință aplicativă, cît și cea de gospodărire rațională a energiei, delimitîndu-se sfera de acțiune, disciplinele științifice înrudite și de frontieră, terminologia specifică utilizată. În continuare se prezintă problemele legate de necesarul de energie la diferite nivele ale economiei și de modul de acoperire a acestuia, prezentîndu-se elemente de calcul ecnonomic în acest scop.

Cap. 3. — *Structura resurselor și a consumului de energie* — prezintă rezervele mondiale de energie, repartizarea lor teritorială, evoluția și structura producției și consumului la nivel mondial.

Cap. 4. — *Înnobilarea purtătorilor de energie. Transformări energetice* — are ca principală temă definirea indicatorilor energetici și energo-economici ai instalațiilor de transformare simple și complexe ale purtătorilor de energie.

Cap. 5 — *Utilizarea energiei* — are ca obiect analiza multilaterală a factorilor determinanți ce acționează asupra mărimii și structurii consumului de energie. Se prezintă în detaliu tipurile, domeniul, metodologia de culegere a datelor și de întocmire a bilanțurilor energetice pentru diferite nivele ale economiei, diferiți purtători de energie, procese tehnologice,

instalații, făcîndu-se și o analiză a bilanțurilor energetice generale întocmite într-o serie de țări. Cîte un paragraf al acestui capitol este consacrat studierii diferitelor aspecte legate de consumul specific de energie, ca un indicator caracteristic al utilizării energiei, caracteristicilor energetice ca expresii cauzale ale consumului de energie, cu exemplificări pentru categoriile de consumatori importanți.

Cap. 6. — *Analiza încărcării agregatelor energetice* — în care, după precizarea noțiunilor de energie, putere și sarcină, se face un studiu amănunțit al curbelor de sarcină, al sintezei acestor curbe și al mărimilor caracteristice ce le influențează.

Cap. 7. — *Cooperarea și combinarea în economia energetică* — prezintă, în principal, problemele de încadrare și funcționare a centralelor electrice în cadrul sistemului electroenergetic. Tot aici sînt prezentate problemele cooperării între producător și consumator în ceea ce privește aplatizarea curbei de sarcină, a efectelor economice ale întreruperii alimentării cu energie a consumatorilor, a producerii combinate de căldură și energie electrică.

Cap. 8. — *Stocarea și transportul energiei* — se ocupă de problemele posibilităților de stocare, a capacităților optime de stocare, a transportului purtătorilor de energie, analizate după felul mijloacelor de transport cît și după felul purtătorului de energie ce trebuie transportat. Un paragraf al acestui capitol prezintă aspectele economice ale problemei.

Cap. 9. — *Optimizarea gospodăriei energetice* — prezintă problemele deosebit de actuale ale corelației între consumul de energie și productivitatea muncii, a cheltuielilor de producere a energiei electrice, a alegerii purtătorilor de energie și a interșanjabilității lor, a repartizării optime a purtătorilor de energie și a optimizării bilanțului energetic de perspectivă.

Cap. 10. — *Planificarea necesarului de energie și putere* — se ocupă de toate aspectele prognozei necesarului de energie, metodele utilizate pentru prognoză, precum și de planificarea indicatorilor ce caracterizează necesarul de putere.

Prin tematica ei cuprinzătoare, prin bogatul material informativ cu care sînt fundamentate toate problemele tratate, prin nivelul de prezentare a problemelor, prin claritatea și concizia expunerii și nu în ultimul rînd prin contribuțiile originale aduse de autor — un reprezentant de frunte al energeticienilor din R. P. Ungară — problemelor complexe tratate, cartea este un aport important în consolidarea bazelor științifice ale unui domeniu de știință aplicativă relativ tînără care este economia energetică.

Ing. **Kovacs Ștefan**

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE. **Normativ pentru construcția instalațiilor electrice de conexiuni și transformare cu tensiuni mai mari ca 1 kV** (1 E-1-68). Oficiul de documentare și publicații tehnice, București, 1968, 77 p, 22 fig., 10 tab., 1 hartă.

Dezvoltarea impetuoasă a instalațiilor electrice de înaltă tensiune (cu tensiuni peste 1 kV), la noi în țară, necesitatea punerii acestora la curent cu progresele tehnicii în instalațiile de înaltă tensiune și în special grija deosebită care se dă în prezent măsurilor de pază împotriva incendiilor, luate în proiectare și execuție, au făcut ca prescripția cu același obiect, nr. 13—1961, să devină insuficientă. Ea a fost, în consecință, înlocuită, prin elaborarea noului normativ menționat mai sus.

Normativul 1E-1-68, analizat în cele ce urmează, se caracterizează totodată printr-o sistematizare a textului, figurilor și tabelelor, în raport cu vechea prescripție, precum și prin completarea cu toate măsurile de pază contra incendiilor, care înainte erau cuprinse în „Normativul general de proiectare a construcțiilor, din punctul de vedere al prevenirii incendiilor", întocmit pe țară de către Ministerul Afacerilor Interne, în colaborare cu Comitetul de Stat pentru Construcții, Arhitectură și Sistematizare (indicativ NPCI-64).

Măsurile și prevederile din normativul pe țară vor fi descentralizate, în normativele corespunzătoare pentru fiecare ramură industrială și economică în parte, normativul pe țară urmînd să conțină numai principiile generale, comune tuturor ramurilor citate.

O primă noutate, introdusă în capitolul 1 — *Generalități* — constă în faptul că se definește gradarea obligativității ce comportă prevederile normativului, în sensul că ea este strictă numai cînd textul conține termenii „trebuie", „este necesar" și „urmează". Altfel, termenul „de regulă" indică faptul că prevederea în cauză trebuie să fie aplicată în majoritatea cazurilor, nerespectarea prevederii fiind permisă, cu justificarea acesteia în proiect.

De asemenea, expresia „se admite" indică o soluționare satisfăcătoare, putînd fi aplicată numai în situații particulare, tot cu justificarea ei în proiect, iar „se recomandă" indică o soluționare preferabilă, care trebuie să se aibă în vedere, fără a fi însă obligatorie.

Tot în capitolul 1 se precizează *domeniul de aplicare* a normativului, care nu cuprinde instalații electrice cu caracter special (ca acelea pentru tracțiune electrică, pentru mine, electrochimie, în încăperi cu pericol de explozie etc.), care sînt de regulă tratate în prescripții speciale.

O altă noutate, apărînd în capitolul specificat, este completarea, față de ediția precedentă, a tuturor definițiilor în legătură cu instalațiile electrice, la tensiuni mai mari ca 1 kV: definiții generale, categorii de instalații, categorii de încăperi, acestea din urmă clasificîndu-se în încăperi (spații) de producție, încăperi (spații) de producție electrică, precum și din punctul de vedere al acțiunii mediului asupra instalațiilor montate în interior și al proceselor tehnologice executate în acestea (coridor de manevră, de supraveghere și de explozie).

Condițiile generale de amplasare a instalațiilor electrice, atît a celor de interior, cît și a celor de exterior, rezumîndu-se în special la distanțele de la instalațiile citate, față de punctele cele mai apropiate ale construcțiilor și încăperilor civile și industriale, în funcție de pericolele de incendiu și de rezistența la incendiu, sînt cuprinse în capitolul 2 din normativ: *Amplasarea instalațiilor electrice*. S-au completat aici prevederile corespunzătoare din vechile prescripții nr. 13—61, cu tabelele și prevederile din normativul pe țară NPCI-1964, deja amintit.

Capitolul 3 tratează despre *Schemele de conexiuni* ale instalațiilor electrice cu tensiuni peste 1 kV, însă numai în ceea ce privește principiile generale, privind în special separațiile de lucru, și anume vizibilitatea întreruperilor la separații, cu precizarea responsabilității, dacă punctele de separație nu sînt în aceeași cameră — și la cel al separării din toate părțile de unde se poate primi tensiune. Acest capitol nu tratează cazurile particulare de scheme, pentru multitudinea de cazuri de instalații posibile, ele privind pe proiectant în fiecare caz și fiind reglementate în fiecare caz în parte, prin directive separate de proiectare.

Principiile generale, valabile pentru toate instalațiile electrice citate în normativ, se detaliază în cap. 4, privind *Instalațiile electrice de exterior*, și în cap. 5, privind *Instalațiile electrice de interior*. Fiecare dintre acestea conține cîte un subcapitol privind măsuri generale specifice fiecărei categorii și în plus subcapitole privind distanțele de izolație și de protecție în aer, coridoarele și accesele în instalații, precum și construcțiile de susținere în aceleași instalații. Spre deosebire de ediția precedentă (Prescripția nr. 13—61), în normativul analizat aici nu s-au mai întocmit subcapitole pe categorii funcționale de instalații (ca posturi de transformare pe stîlpi, în hale industriale, în clădiri de locuințe), pentru a se evita repetări inutile. În schimb, la fiecare din subcapitolele citate mai sus s-au menționat particularitățile corespunzătoare, pentru fiecare categorie funcțională de stații și posturi de transformare și conexiuni electrice, de asemenea menționate mai sus.

Totodată, ca o noutate față de vechea ediție, în care diferitele distanțe erau notate cu litere, pe secțiuni complete de stații și posturi electrice — greu de urmărit —, în normativul nou toate distanțele s-au concentrat pe grupări de figuri simple și tabele de cifre corespunzătoare — cîte una, de fiecare dintre acestea, pentru instalații de exterior și de interior, ocupînd cîte o singură planșă pentru fiecare din cele două categorii de instalații.

Cele două capitole sus-menționate s-au completat cu prevederile de detaliu cores-

punzătoare din normativul general NPCI-64.

Urmează cap. 6 care tratează despre *Condiții privind instalarea echipamentului electric*", împărțit în subcapitole despre condițiile generale de instalare pentru toate elementele echipamentului și subcapitole pentru prevederi de detalii privind aparate de conectare, transformatoare de putere și de măsurat, bobine, descărcătoare și materiale electrice. În subcapitolul relativ la transformatoare se prevăd generalități și măsuri pentru montarea transformatoarelor în exterior și în interior, care apar și în subcapitolul de „materiale", dar cu referire la căile de curent corespunzătoare — și în plus o subîmpărțire despre izolatoare. S-a mai cuprins aici un subcapitol privind condiții speciale pentru instalarea transformatoarelor și aparatelor care conțin ulei, cu aceeași împărțire ca a subcapitolului privind transformatoare.

Întregul capitol conține în special prevederi asupra distanțelor de avut în vedere la montaj și s-a completat cu prevederile din NPCI-64, neexistente în ediția precedentă, cu privire la măsurile de pază contra incendiilor, în special în cazul transformatoarelor și aparatelor conținînd ulei. Și aici s-a păstrat principiul de a nu separa pe categorii de stații și posturi electrice caracteristicile și prevederile de montaj ale echipamentelor, păstrîndu-se principiile de la cap. 4 și 5, arătate mai sus.

Normativul se încheie cu cap. 7, *Diverse instalații și amenajări*, enunțînd pe scurt măsurile speciale de proiectare și construcție, de avut în vedere la instalațiile de iluminat, de apă și salubritate, precum și de semnalizare a pătrunderii apei în instalațiile electrice de conexiuni și transformare cu tensiuni mai mari ca 1 000 V.

Anexele la normativ conțin: un tabel cu intervale minime de protecție între instalații cu izolație normală și centre de contaminare a atmosferei, un tabel și o hartă privind condiții de dimensionare meteorologice la noi în țară, precum și o listă de standarde, prescripții și normative, apărute la noi, în legătură cu normativul analizat.

Normativul va putea fi eventual îmbunătățit, cu ocazia apariției în viitor a Normativului general, specific pe țară, cînd toate normativele cuprinzînd măsuri de prevenire a incendiilor, în diferitele ramuri ale industriei, vor fi supuse organelor de avizare competente.

Ing. **Vlad Rădulescu**

—— o ——

Informații tehnice

Motoare electrice mari pentru centrale electrice. Se analizează proprietățile fizice și execuția constructivă a motoarelor electrice folosite în centrale electrice pentru servicii proprii. Se redau cerințele ce se impun unei revizii îndelungate, pornirii, împreună cu analiza fenomenelor tranzitorii, caracteristice pentru funcționarea la servicii proprii. La alegerea motorului se recomandă a se lua în considerare atît cerințele ce se impun motorului în general și sursei de alimentare în special, cît și condițiile de exploatare. Se mai analizează problema zgomotului. În încheiere se dă tabelul tipurilor de motoare electrice folosite în R. S. Cehoslovacă și în străinătate. Se scoate în evidență folosirea tot mai largă a acționărilor cu reglaj cu semiconductori.

(*Elektrotechnický obzor nr. 10, 1968*)

Demineralizarea apei cu conținut mare de substanțe organice. În cadrul centralei electrice Holešovice din Praga se experimentează două linii de demineralizare a apei din Vltava. Prima linie are patru trepte cu un antefiltru anionic de protecție puternic bazic, macroporos, ce conține Lewatit MP 500: Ostion KS-Amberlite IRA 45-Ostion KS-Wofatit SBW. Linia a doua are patru trepte cu filtru anionic slab bazic bifuncțional, macroporos Lewatit MP 60: Ostion KS-Wofatit SBW. Conductibilitatea electrică a apei obținute pe ambele linii este foarte asemănătoare, iar conținutul de oxigen este aproape același. Deci și din punctul de vedere al calității apei obținute și al protecției materialului filtrant, ambele variante sînt echivalente. Se mai analizează costul chimicalelor pentru regenerare: pentru linia I acesta este de 0,942 Kčs/m³, pe cînd pentru linia II este de 0,706 Kčs/m³. Din punctul de vedere al exploatării, varianta II este mai operativă. După cum rezultă din analiza economică, cheltuielile de exploatare sînt echivalente. În consecință, varianta II este mai favorabilă atît ca investiție, cît și ca operativitate în exploatare.

(*Energetika nr. 9, 1968*)

Reglajul presiunii și temperaturii aburului supraîncălzit la cazane cu tambur. Se redă calculul proprietăților dinamice ale sistemului de reglaj al presiunii și temperaturii aburului viu. Cu ajutorul instalației de modelat s-a analizat influența dintre cele două bucle de reglare. Se scot în evidență factorii care influențează dinamica reglării temperaturii, ca: lungimea constructivă a supraîncălzitorului, legătura inversă cu celelalte bucle de reglare, dimensionarea corectă a ventilului de injecție, care trebuie să regleze în intervalul de ±20°C, la puterea nominală.

(*Energetika nr. 9, 1968*)

Sarcina marketingului în industria energetică. După ce se definește noțiunea de marketing în energetică, se enumeră principalele sale sarcini de producție efectivă, intervenții la organele centrale pentru înlăturarea oricăror măsuri discriminatorii (mai ales în domeniul prețurilor), recrutarea de noi consumatori electrici. Un manager de marketing trebuie să fie un bun economist, care să poată analiza situația pe piață, să prevadă posibilitatea de producere și desfacere, să planifice activitatea și să aprecieze corect rezultatele obținute.

(*Energetica nr. 9, 1968*)

Analiza marilor centrale hidroelectrice din R. S. Cehoslovacă. Potențialul hidroelectric economic utilizabil în R. S. Cehoslovacă este de 12 TWh/an, corespunzînd unei puteri de circa 5000 MW. Utilizarea actuală este de 3 TWh/an, cu o putere de 1200 MW. Capacitatea de acumulare în bazinele hidroelectrice și economicește posibilă a fi pusă în valoare este de 9000 mil. m³ față de 2300 mil. m³ predată la finele anului 1964.

(*L'Elettrotecnica nr. 9, 1968*)

Centrala nucleară de la Oconee (S.U.A.) va costa 100 $ kW instalat. În localitatea Oconee din Carolina de Sud sînt în construcție, la mică distanță unul de altul, două baraje pe fluviul Keowee, care vor forma un lac; o centrală hidroelectrică cu două grupuri de 87,5 MVA, care va folosi apele bazinului, și centrala nucleară de 2660 MW_e. În amonte, un al treilea baraj, la Jocassee, va forma un al doilea bazin, care va alimenta o altă CHE, de 600 MW. CHE va avea un grup turbină-alternator de 160 MW și trei grupuri turbine-pompe nereversibile, fiecare de 150 MW. Alte instalații hidroelectrice sînt prevăzute pentru viitor, putînd ridica puterea finală la 2300 MW.

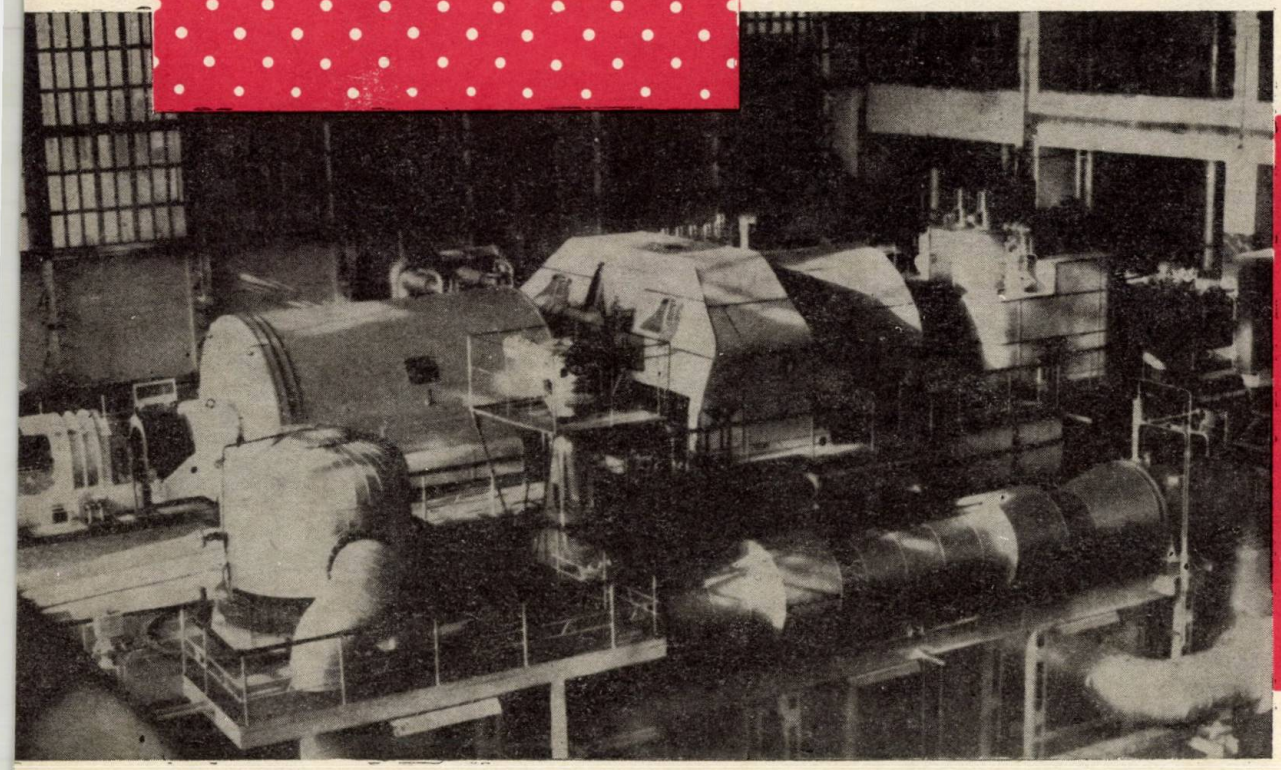
Centrala nucleară de 2660 MW_e este formată din trei grupuri egale, ce vor intra în funcțiune în 1971, 1972 și 1973. Pentru fiecare unitate este prevăzut un reactor cu apă sub presiune. Costul centralei nucleare este prevăzut la 263 644 000 $, cuprinzînd costul terenului, încărcătura directă și indirectă, proiectul și cheltuielile generale. La puterea totală, de 2660 MW_e, revine la 100 $/kW.

(*L'Elettrotecnica nr. 9, 1968*)

—— o ——

INTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE BUCUREȘTI

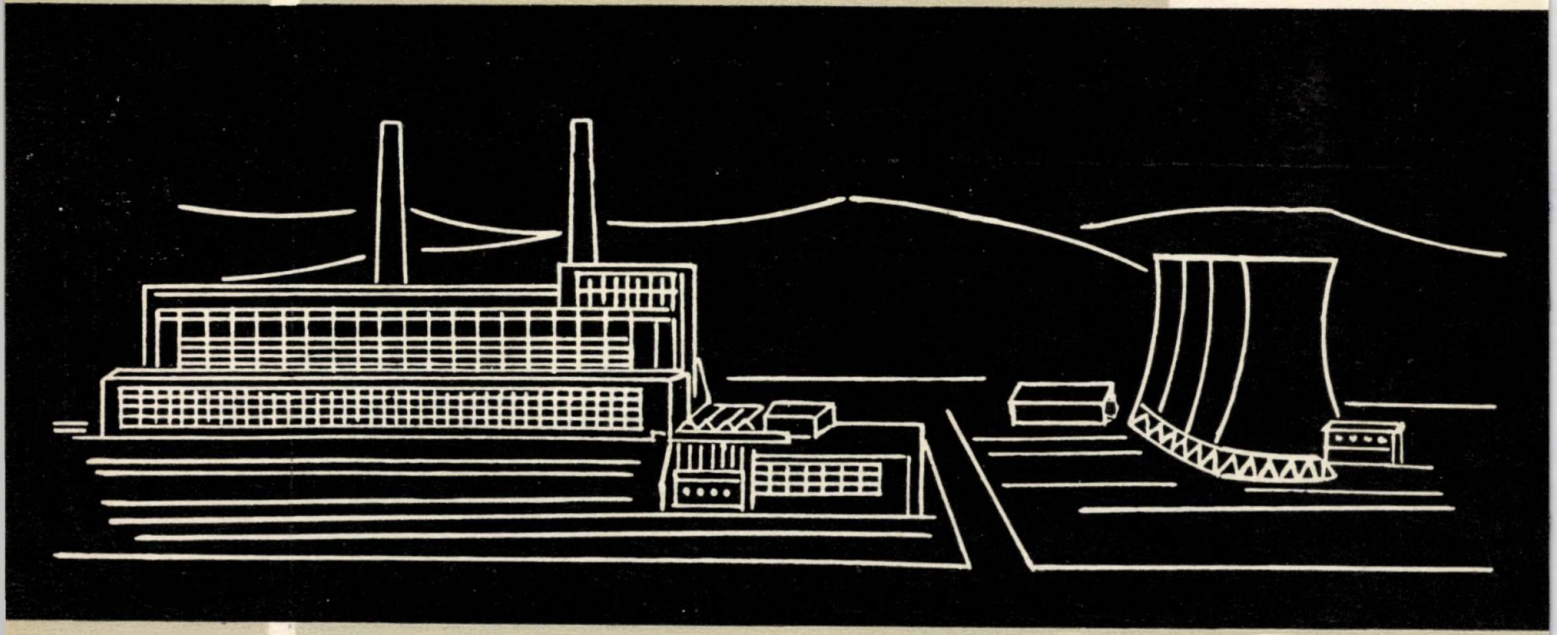
- produce și furnizează sistemului energetic național energie electrică
- asigură cu energie electrică și căldură consumatorii din municipiul București
- este înzestrată cu instalații și utilaje la nivelul tehnic național

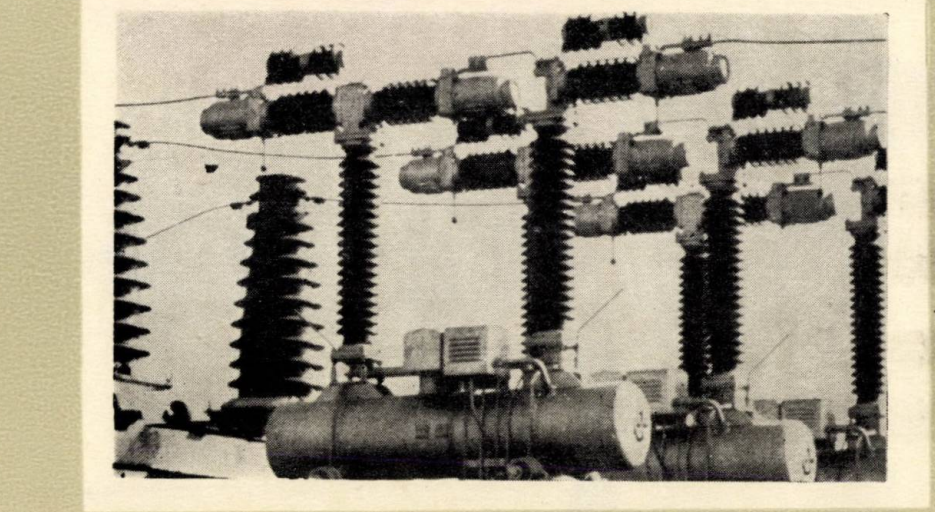


Sala turbinelor de la una din centralele IECB

INTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE DOICEȘTI

- Puterea instalată a tuturor centralelor electrice ale I.E.C. Doicești depășește 150 MW și asigură cu energie electrică zonele industriale Ploiești și Tîrgoviște.
- I.E.C. Doicești este interconectată la sistemul energetic național, livrînd energie la 110, 35 și 6 kV.
- I.E.C. Doicești contribuie la înfăptuirea programului de electrificare a țării.





I.R.E. CLUJ

Întreprinderea Regională de Electricitate Cluj — Str. 30 Decembrie nr. 27 telefon 239, 90.

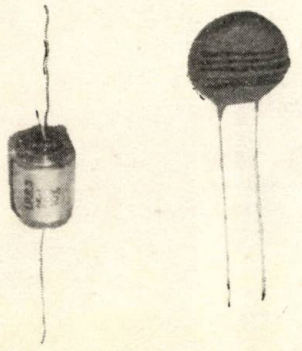
- Transportă şi distribuie energie electrică în reţelele de înaltă, medie şi joasă tensiune.
- Execută reţele electrice de medie şi joasă tensiune pentru electrificări rurale, extinderi de reţele, instalaţii interioare în mediul urban şi rural şi posturi de transformare.
- Proiectează reţele, posturi şi staţii de transformare, electrificări rurale, automatizări şi modernizări în staţii.

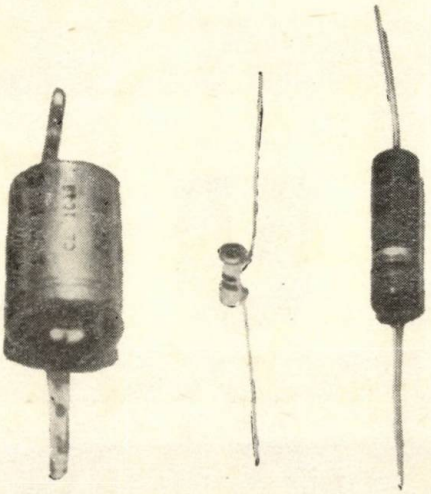
IPRS BĂNEASA

PIESE RADIO

- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare hîrtie-uz general-
- Condensatoare hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate

PRODUCE :





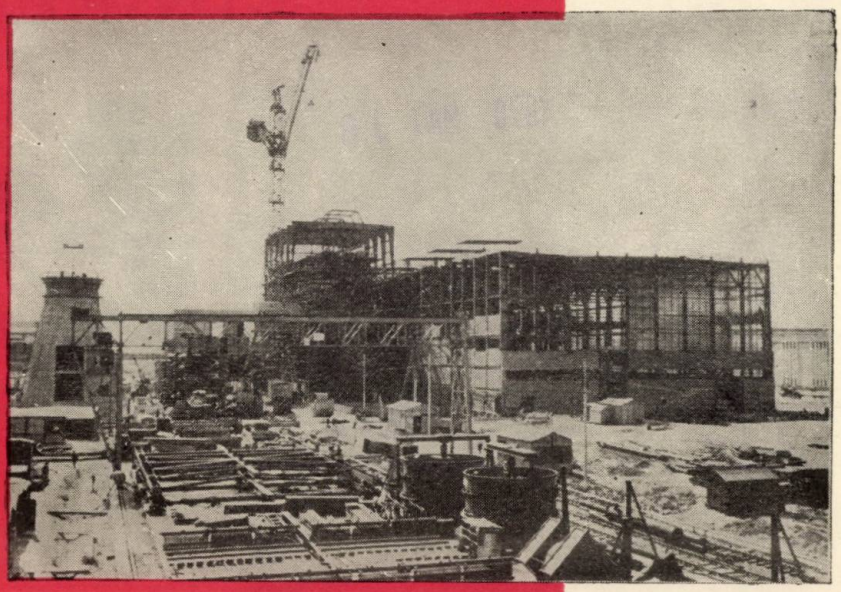
DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

- Tranzistoare cu germaniu, de joasă frecvență
  - — de mică putere
  - — de medie putere
- Tranzistoare cu germaniu de înaltă frecvență
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere

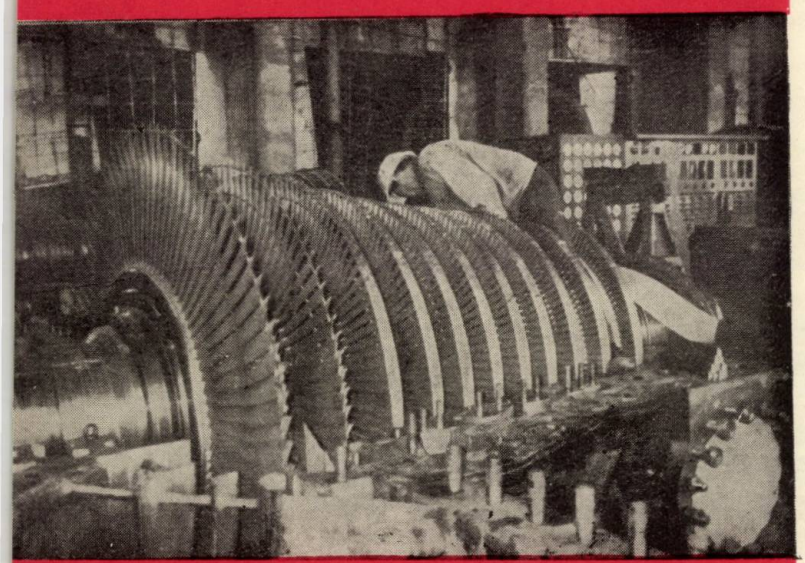
INTREPRINDEREA PIESE RADIO ȘI DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE—BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, sector 2, telefon 33.38.30, Telex 011203

Pentru informații suplimentare consultați cataloagele noastre

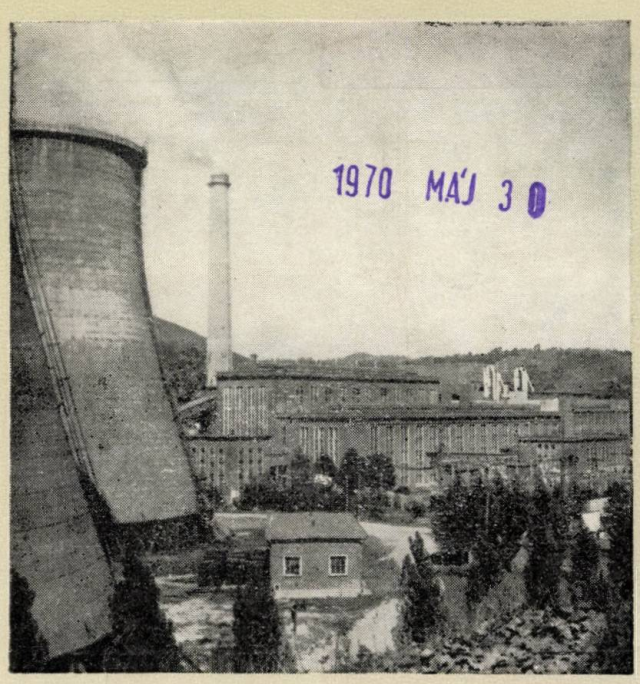


INTREPRINDEREA Energomontaj



Execută lucrări de montaj:

- Cazane de abur cu parametri ridicați:
  - 500 t abur/h, 215 at, 514°C
  - 640 t abur/h, 140 at, 570°C
- Turbine cu abur de la 6 MW la 315 MW
- Turbine cu gaze
- Turbine hidraulice de la 5,5 MW la 170 MW
- Compensatoare sincrone
- Instalații termomecanice auxiliare ale centralelor termoelectrice și echipament hidromecanic
- Instalații electrice de joasă, înaltă și foarte înaltă tensiune
- Instalații de măsură, control și automatizare



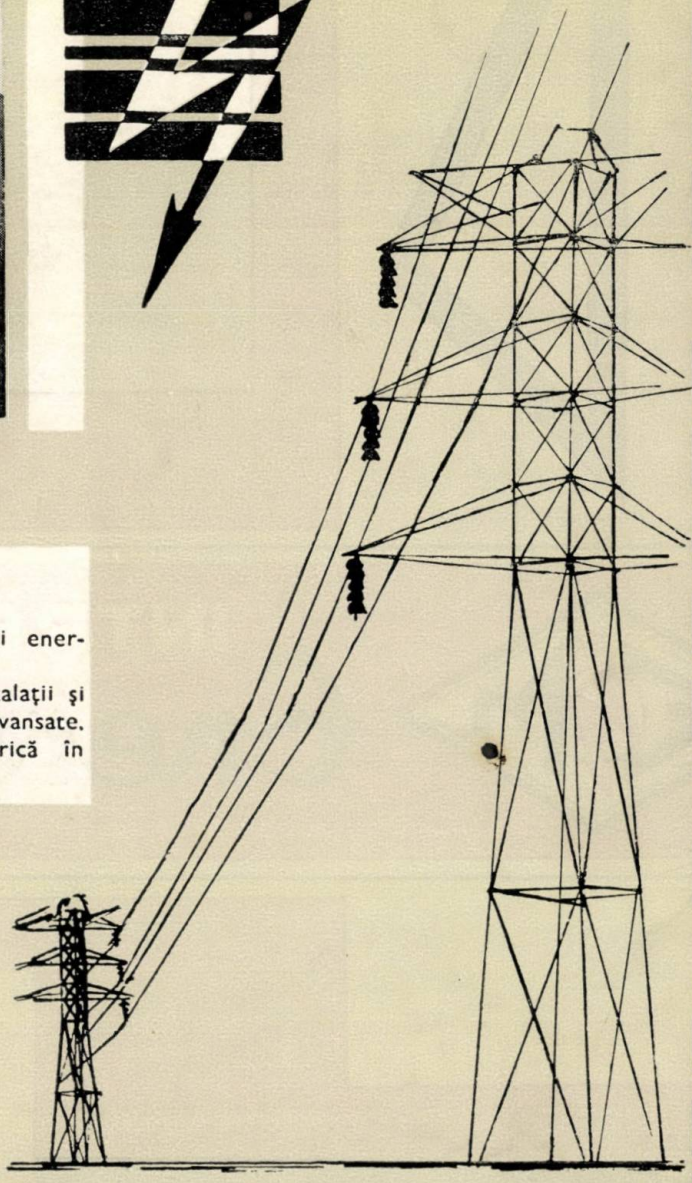
1970 MAJ 30

INTREPRINDEREA ELECTROCENTRALEI PAROŞENI

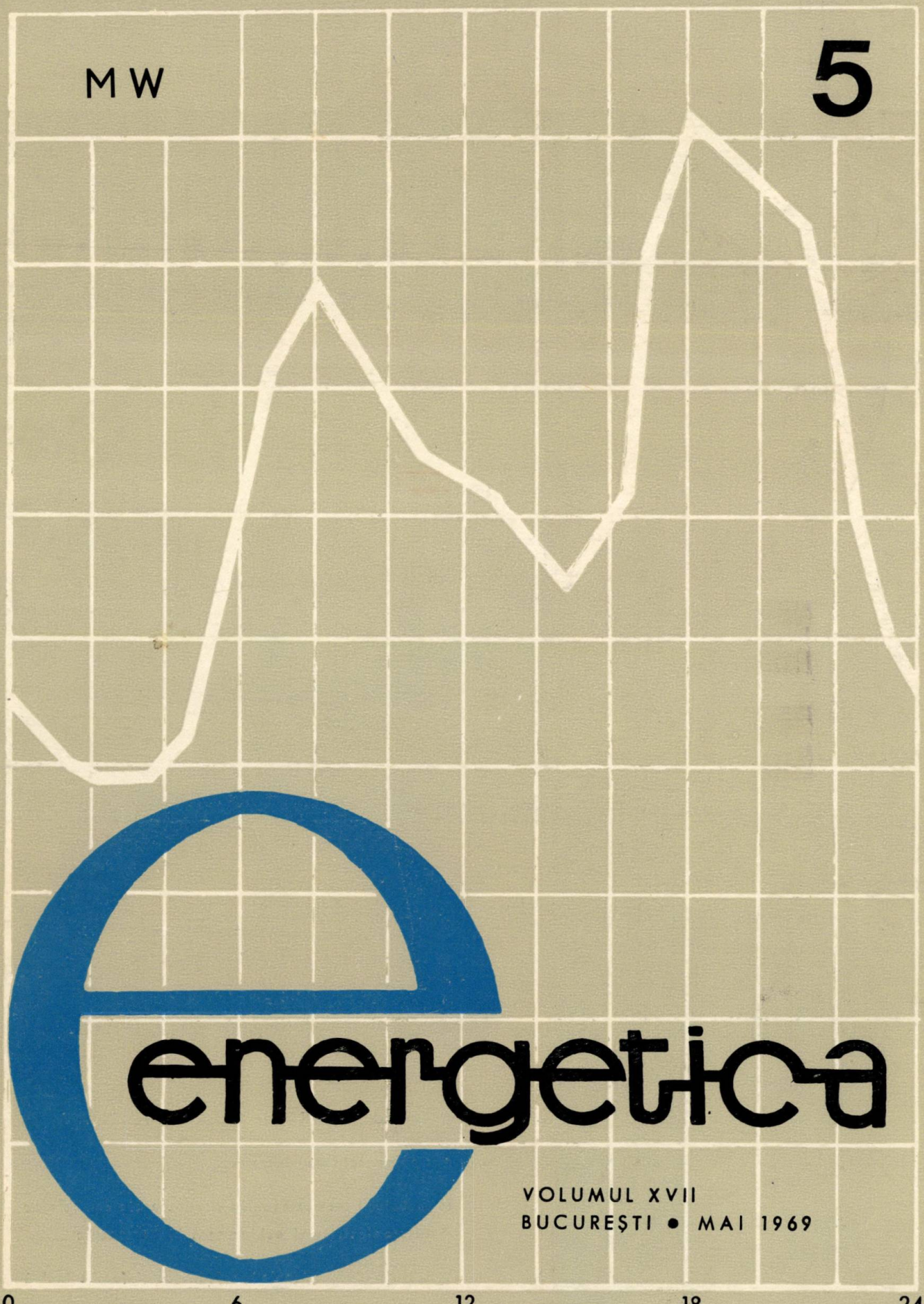
IEC Paroşeni

● produce şi furnizează sistemului energetic naţional energie electrică

IEC Paroşeni este înzestrată cu instalaţii şi utilaje la nivelul tehnicii mondiale avansate, producînd şi furnizînd energie electrică în condiţii tehnice superioare.



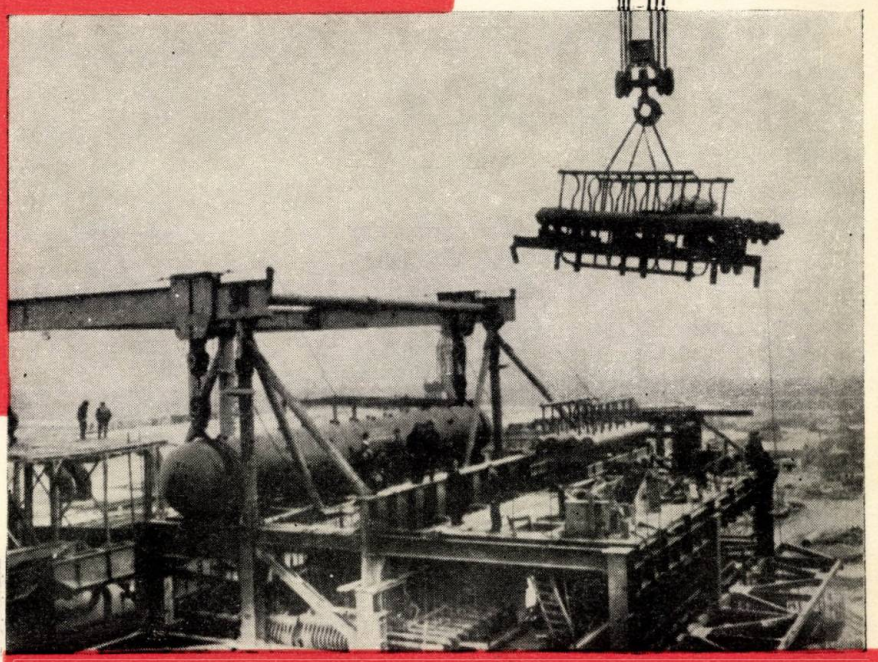
= 2039

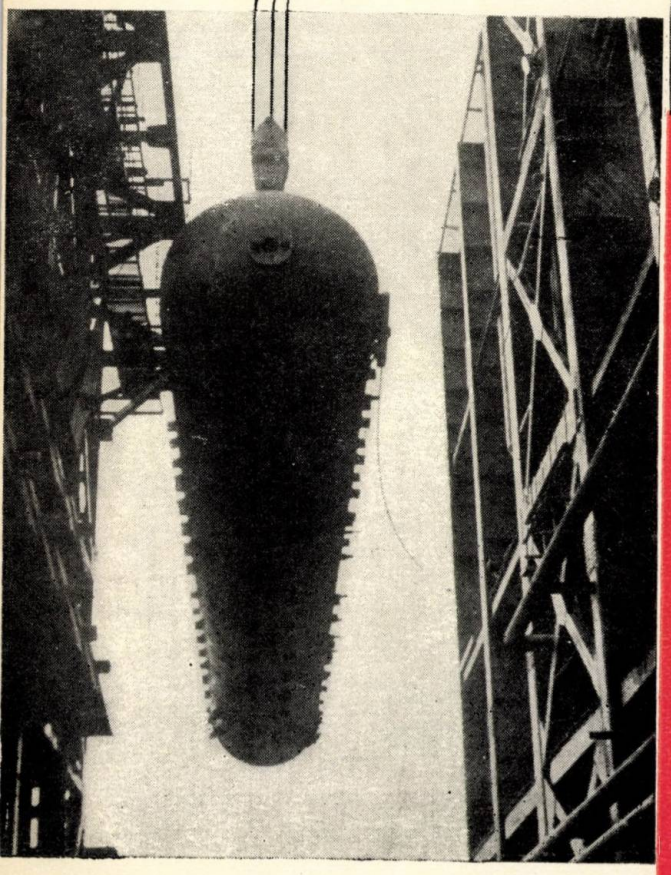


energetica

VOLUMUL XVII
BUCUREŞTI • MAI 1969

INTREPRINDEREA Energomontaj





Execută lucrări de montaj:

- Cazane de abur cu parametri ridicați:
  - — 500 t abur/h, 215 at, 514°C
  - — 640 t abur/h, 140 at, 570°C
- Turbine cu abur de la 6 MW la 315 MW
- Turbine cu gaze
- Turbine hidraulice de la 5,5 MW la 170 MW
- Compensatoare sincrone
- Instalații termomecanice auxiliare ale centralelor termoelectrice și echipament hidromecanic
- Instalații electrice de joasă, înaltă și foarte înaltă tensiune
- Instalații de măsură, control și automatizare

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR ÉS DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1963

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 17 nr. 5 MAI

Cuprinsul

Panaitescu, G. şi *Grăniceanu, M.*	**Influenţa tarifării energiei electrice şi a căldurii asupra stimulării consumului şi dezvoltării sale raţionale**	217—225
Oancea, N.	**Modelarea proceselor termice din turnurile de răcire peliculare**	225—229
Krisch, W. şi *Stezar, V.*	**Instalaţie experimentală de stingere uscată a cocsului**	230—234
Călin, S.	**Determinarea relaţiilor generale pentru caracteristicile circulare şi liniare ale releelor de impedanţă şi direcţionale**	234—240
Cristovici, A. şi *Bensimon, A.*	**Formule utile pentru calculul tensiunii pe linii de foarte înaltă tensiune**	240—244
Zickman, M.	**Stadiul actual al calculelor stabilităţii sistemelor electroenergetice cu ajutorul calculatoarelor electronice**	244—251

TRATAREA APEI ÎN CENTRALELE TERMOELECTRICE

* * *	**Consfătuirea chimiştilor din sectorul energetic—Bucureşti, 28—30 noiembrie 1968**	252—253
Stanisavlievici, L.	**Tehnica filtrelor ionice cu pat stratificat**	253—256
Negulescu, L.	**Criterii tehnico-economice în stabilirea regimului apei la cazanele de abur cu parametri medii şi înalţi**	257—260

RECENZII

INFORMAŢII TEHNICE

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, conf. ing. E. CONSTANTINESCU, ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, conf. ing. V. NITU, ing. A. SPÎNU

OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE
AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE

Fleşele excavatoare hidraulice Atlas Copco sapă fiecare gaură dintr-o serie în mod automat, paralel cu prima gaură. Şi ceea ce este şi mai important, patru fleşe acoperă 90 metri pătraţi.

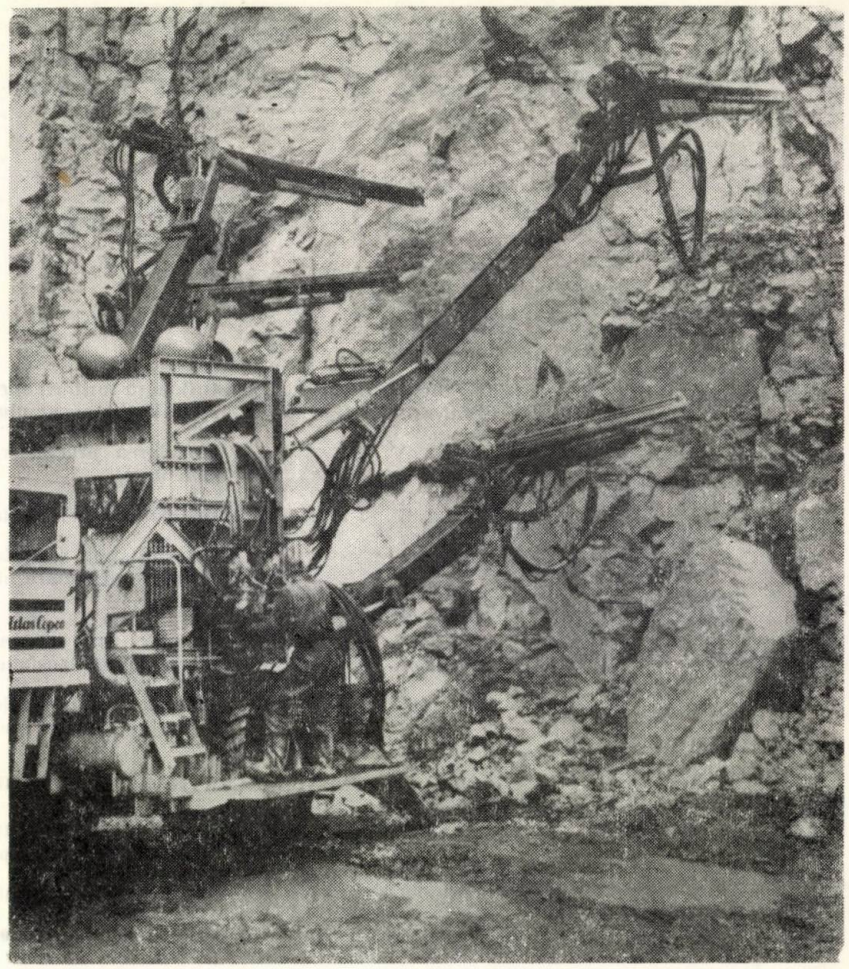
Atlas Copco are o gamă completă de fleşe excavatoare hidraulice pentru săparea de galerii şi de tunele. Această gamă cuprinde patru tipuri diferite: cu lungime fixă, extensibile, cu rostogolire şi cu dispozitiv excentric de amplasare a sapei şi cu rostogolire şi cu dispozitiv centric de amplasare a sapei.

Fleşele cu lungime fixă şi extensibile au un cilindru pilot care sesizează distanţa de ridicare şi asigură ca fiecare gaură dintr-o serie să fie săpată, în mod automat, paralel cu prima gaură. Aceasta reprezintă o mare economie de timp, mai ales pentru găurile cele mai de sus din profil.

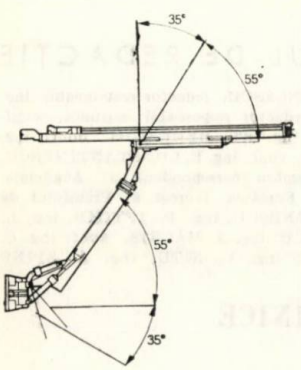
Fleşele hidraulice sînt construite dintr-un număr restrîns de piese componente standardizate produse în masă. Ele pot fi echipate în cinci moduri diferite pentru a face faţă aproape oricărei cerinţe. Este o chestiune simplă să se asambleze echipamentul adecvat pentru orice suprafaţă şi configuraţie a unui front de lucru, metodă de săpare în galerii, tip de săpare etc. Este tot atît de simplu să se modifice ansamblul la faţa locului.

Atlas Copco furnizează truse speciale de transformare pentru transformarea unei fleşe cu lungime fixă într-o fleşă extensibilă sau într-una cu rostogolire.

Fleşele excavatoare Atlas Copco au o rază de acţiune mare. Două fleşe extensibile şi două fleşe cu rostogolire, de exemplu, acoperă o suprafaţă de front de lucru de 90 m².



Utilizaţi cuponul pentru a afla mai multe date !



Către: Atlas Copco AB, S — 105 23 Stockholm, Suedia

Vă rugăm trimiteţi de îndată detalii tehnice complete despre fleşele hidraulice Atlas Copco. Doresc informaţii în ☐ l. engleză ☐ l. germană

Numele _____

Funcţia _____

Adresa _____

2/69

Atlas Copco

PUBLICOM

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.317.8 : 621.311.151/152

Панаитеску, Г. и *Грэничяну, М.:*
Влияние тарифов тёпловой и электрической энергии для поощрения потребления и их развития

Приводится эволюция тарифов во времени на тёпловую и эл. энергию в С.Р.Р. и их влияние на развитие потребления (как обсолютные значения) и на сглаживание-вариации в течении суток.

Energetica 17 (1969), No. 5, стр. 217–225

ДК 621–714

Оанча, Н.:
Моделирование термических процессов плёнковых градирнь

Приводятся результаты опытного исследования тёплообмена в градирнях, произведенного в Политехническом Институте г. Тимишоара.

Energetica 17 (1969), No. 5, стр. 225–229

ДК 662.741.3.004.8

Криш, В. и *Стежар, В.:*
Пробная установка сухого гашения кокса

Описывается эксперементальная отечественная установка, с которой проводились исследования по сухому гашению кокса. Способ позводяет экономию большого количества термической эл. эненгии.

Energetica 17 (1969), No. 5, стр. 230–234

ДК 621.316.925.45.001.2

Кэлин, С.:
Определение общих соотношений для круговых и линейных характеристик направленных импедансных реле

Демонстрируются и представляются общие соотношения для круговых и линейных характеристик направленных импедансных реле как при изменении величины амплитуды и угла тока.

Energetica 17 (1969), No. 5, стр. 234–240

ДК 621.316.11.001.24

Кристович, А. и *Бенсимон, А.:*
Полезные формулы для расчёта по линиям сверхвысокого напряжения

Предлягаются полезные формулы для расчёта повышения напряжения при включении на холостой ход длинных линий 220—400 кв. компенсированных разным способом, подключённых прямо к станционным шинам или к трансформаторным блокам. Также указываются практические формулы для расчёта входного импеданса холостых линий или при разных режимах нагрузки.

Energetica 17 (1969), No. 5, стр. 240–244

ДК 621.316.11.001.24

Зикман, М.:
Современная стадия расчётов устройчивости эл. энергетических систем с помощью Ц.В.М.

Представляются современный метод математического моделирования синхронных генераторов и систем их регулирования при использования Ц.В.М. для расчётов устойчивости эл. энергетических систем.

Energetica 17 (1969), No. 5, стр. 244–251

ОЧИСТКА ВОДЫ В Т.Э.Ц.

ДК 621.187.12(063)

Совещание химиков по энергетической отрясли Бухарест, 28—30 ноября 1968 г.

Energetica 17 (1969), No. 5, стр. 252–253

ДК 621.187.12.004

Станисавлиевич, Л.:
Техника фильтров со смешанным напластованием.

Energetica 17 (1969), No. 5, стр. 253–256

ДК 621.187.12

Негулеску, Л.:
Технико-экономические критерии в установлении режимов воды в паровых котлах со средними и высокими параметрами

Energetica 17 (1969), No. 5, стр. 257–260

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.317.8 :621.311.151/152

Panaitescu, G. und *Grăniceanu, M.*: **Einfluss der Tarifgestaltung für Elektroenergie und Wärme auf Förderung des Verbrauchs und dessen rationale Entwicklung**

Es wird der zeitliche Verlauf der Tarife für Elektroenergie und für Wärme in Rumänien sowie der durch die aufeinanderfolgenden Änderungen ausgeübte Einfluss auf Entwicklung des Verbrauchs als absolute Grösse sowie auf den Ausgleich täglicher Schwankungen dargestellt

Energetica 17 (1969), H.5, S. 217–225

DK 621–714

Oancea, N.: **Modellierung der in Kühltürmen mit filmförmigen Ablauf von stattengehenden thermischen Vorgänge**

Ergebnisse im Polytechnischen Institut Timişoara vorgenommener Versuche mit Wärmetauschprozessen in Kühltürmen.

Energetica 17 (1969), H.5, S. 225–229

DK 662.741.3.004.8

Krisch, W. und *Stezar, V*: **Versuchsanlage für trockene Kokslöschung**

Eine in Rumänien gebaute Versuchsanlage wird beschrieben, mit deren Hilfe Versuche für trockene Löschung von Koks vorgenommen wurden. Das Verfahren ermöglicht die Rückgewinnung bedeutender Mengen thermischer Energie:

Energetica 17 (1969), H.5, S. 230–234

DK 621.316.925.45.001.2

Călin, S.: **Ermittlung allgemeiner Gleichungen von Kreis- und Liniendiagrammen für Distanz- und Richtungsrelais**

Allgemeine Gleichungen für Kreis- und Liniendiagramme von Distanz und Richtungsrelais werden abgeleitet und sowohl für Amplitüdenüberwachung, als auch für Überwachung der Phasenlage dargestellt.

Energetica 17 (1969), H.5, S. 234–240

DK 621.316.11.001.24

Cristovici, A. und *Bensimon, A.*: **Nützliche Formeln für Spannungsberechnung von Höchstspannungsleitungen**

Es werden nützliche Formeln für Berechnung der Spannungszunahme bei Einschaltung leerlaufender, langer, auf verschiedene Weise kompensierter, unmittelbar an Sammelschienen von Umspanwarten oder in Blockschaltung mit Transformatoren befindlicher 220-oder 400 kV-Leitungen angeführt. Ferner werden praktische Formeln zur Berechnung der Eingangsimpedanz von Leitungen im Leerlauf oder bei verschiedenen Belastungen angegeben.

Energetica 17 (1969), H.5, S. 240–244

DK 621.316.11.001.24

Zickman, M.: **Gegenwärtiger Stand der Verfahren zur Ermittlung der Stabilität elektrischer Verbundnetze**

Moderne Verfahren der Stabilitätsberechnung von Verbundnetzen vermittels. Mathematischer Modellierung von synchronen Generatoren und derer Regelsysteme werden, an Hand digitaler oder analoger Rechner beschrieben

Energetica 17 (1969), H.5, S. 244–251

WASSERAUFBEREITUNG IN WÄRMERKRAFTWERKEN

DK 621.187.12 (063)

Tagung der in der Energiewirtschaft tätigen Chemiker, Bukarest November 1968

Energetica 17 (1969), H.5, S. 252–253

DK 621.187.12.004

Stanisavlievici, L.: **Schichtbettfilter**

Energetica 17 (1969), H.5, S. 253–256

DK 621.187.12

Negulescu, L.: **Technische und wirtschaftliche Merkmale für Bestimmung des Wasserzustands bei Dampfkesseln für mittlere und hohe Dampfzustände**

Energetica 17 (1969), H.5, S. 257–269

SOMMAIRE

CD 621.317.8 : 621.311.151/152

Panaitescu, G. et *Grăniceanu, M.* : **L'influence du tarif de l'énergie électrique et de la chaleur sur la stimulation de la consommation et sur son développement**

Présentation de l'évolution des tarifs électriques et des tarifs pour fourniture de chaleur en Roumanie et de l'influence de cette variation sur le développement de la consommation (valeurs absolues) et sur l'aplatissement des variations journalières.

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 217–225

CD 621–714

Oancea, N. : **L'établissement des modèles des processus thermiques dans les tours de réfrigération**

Résultats des recherches expérimentales faites à l'Institut Polytechnique de Timişoara sur l'échange de chaleur dans les tours de réfrigération.

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 225–229

CD 662.741.3.004.8

Krisch, W. et *Stezar, V.* : **Installation expérimentale pour l'extinction sèche du coke**

On décrit l'installation expérimentale réalisée en Roumanie qui a servi aux recherches sur l'extinction sèche du coke. Le procédé utilisé permet la récupération de quantités importantes d'énergie thermique.

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 230–234

CD 621.316.925.45.001.2

Călin, S. : **Détermination des relations générales pour les caractéristiques circulaires et linéaires des relais de distance et directionnels**

On présente et on démontre des relations générales pour les caractéristiques circulaires et linéaires des relais de distance et directionnels pour le cas du contrôle des amplitudes ainsi que pour celui des déphasages.

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 234–240

CD 621.316.11.001.24

Cristovici, A. et *Bensimon, A.* : **Formules utiles pour le calcul de la tension sur lignes de très haute tension**

Les auteurs proposent quelques formules utiles pour calculer les accroissements de tension à la connection à vide des lignes longues sous 220–400 kV, compensées de différentes manières, connectées directement aux jeux de barres des postes ou en groupe avec transformateurs. On indique aussi des formules pratiques pour calculer l'impédance d'entrée des lignes à vide ou sous différents régimes de charges.

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 240–244

CD 621.316.11.001.24

Zickman, M. : **Le stade actuel des calculs de stabilité des réseaux électriques établi à l'aide de calculateurs électroniques**

Voici quelques méthodes modernes pour établir les modèles mathématiques des alternateurs synchrones et de leurs systèmes de réglage, afin d'utiliser des calculateurs numériques et analogiques pour établir les calculs de stabilité des réseaux électriques.

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 244–251

TRAITEMENT DE L'EAU DANS LES CENTRALES THERMIQUES

CD 621.187.12 (063)

Conférence des chimistes travaillant dans le secteur de l'énergie — Bucarest, 28–30 novembre 1968

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 252–253

CD 621.187.12.004

Stanisavlievici, L. : **Technique des filtres à couche stratifiée**

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 253–256

CD 621.187.12

Negulescu, L. : **Critères techniques et économiques servant à établir le régime de l'eau pour les chaudières à vapeur à paramètres moyens et élevés**

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 257–260

CONTENTS

DC 621.317.8 : 621.311.151/152

Panaitescu, G. and *Grăniceanu, M.* : **Influence of tariffs for electric power and heating upon the stimulation of consumption and its development**

Here is the evolution of electric power and distance heating tariffs in Romania and the influence of this variation exerted upon the development of consumption (in absolute values) and the flattening of day-time variations.

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 217–225

DC 621–714

Oancea, N. : **Models for thermal processes taking place in cooling towers**

The results of experimental research work carried out at Timişoara Polytechnic Institute on heat exchange in cooling towers.

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 225–229

DC 662.741.3.004.8

Krisch, W. and *Stezar, V.* : **Experimental installation for the dry extinction of coke**

The authors describe an experimental installation made in Romania and used to carry out researches concerning the dry extinction of coke. The method used allows to recover important quantities of thermal energy

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 230–234

DC 621.316.925.45.001.2

Călin, S. : **Establishing general relations for circular and linear characteristics of distance and directional relays**

Demonstrations are made and general relations are presented for linear and circular characteristics of distance and directional relays in the case of amplitude control as well as of dephasing

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 234–240

DC 621.316.11.001.24

Cristovici, A. and *Bensimon, A.* : **Useful formulas for the calculation of voltage on very high voltage lines**

Useful formulas are proposed for calculating voltage surges in case of no-load connection of long lines rated at 220–400 kV compensated in various ways, directly connected to substation busbars or in set with transformers. Also indicated are pratical formulas for the calculation of impedance of lines under no-load or in various load conditions.

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 240–244

DC 621.316.11.001.24

Zickman, M. : **The present stage of calculation of the steady state of power systems by means of electronic computers**

Here are some modern methods of setting up mathematic models of synchronous generators and their governing systems, in view of employing digital and analoguous computers for making the steady-state calculation of power systems

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 244–251

WATER TREATMENT IN THERMAL POWER STATIONS

DC 621.187.12(063)

The Conference of chemist employed in the power section — Bucharest, November 28–30, 1968

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 252–253

DC 621.187.12.004

Stanisavlievici, L. : **The technique of stratified bed filters**

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 253–256

DC 621.187.12

Negulescu, L. : **Technical and economic criteria for establishing the water conditions for steam boilers with high and average parameters**

Energetica 17 (1969), No. 5, p. 257–260

Influența tarifării energiei electrice și a căldurii asupra stimulării consumului și dezvoltării sale raționale

Ing. G. Panaitescu și ing. M. Grăniceanu *)

În perioada 1950—1967 producția de energie electrică în R.S. România a cunoscut un ritm de creștere foarte ridicat. Astfel, între anii 1950—1956, producția de energie electrică a crescut de la 2,1 TWh la 4,9 TWh, cu un ritm mediu anual de 15,2%, în perioada 1956—1962 de la 4,9 TWh la 10,1 TWh, cu un ritm anual de 12,5%, și în perioada 1962—1967 de la 10,1 TWh la 24,77 TWh, cu un ritm mediu anual de 19,7%. Numărul abonaților casnici de energie electrică a sporit în perioada 1950—1967 cu peste 2 milioane, iar al celorlalți consumatori cu circa 160 000.

Concomitent cu dezvoltarea producției de energie electrică, în țara noastră s-a dezvoltat și producția de căldură în centralele de termoficare. Astfel, față de 7,48 mil. Gcal produse în 1958, producția de căldură în centralele de termoficare realizată în 1967 a fost de circa 29 mil. Gcal.

La această dezvoltare a consumului de energie electrică și căldură din România, un rol important l-a avut și tarifarea, care a dirijat aceste consumuri spre o folosire cît mai rațională și eficientă atît pentru producător, cît și pentru consumator.

I. Evoluția tarifării energiei electrice în R. S. România în perioada 1950—1967. Între anii 1950 și 1967, se pot distinge trei perioade caracteristice privind tarifarea energiei electrice :

1. *Perioada 1950—1954.* În această perioadă tarifele pentru energia electrică (exclusiv cele pentru utilizări casnice) erau diferențiate după localități sau zone, numărul lor ridicîndu-se la cîteva sute. Datorită acestui fapt, în perioada 1950—1954 nu se putea vorbi despre o politică tarifară unică, sistemele de tarifare aplicate fiind determinate de condiții locale.

2. *Perioada 1955—1962.* La începutul anului 1955 au fost aprobate noi tarife pentru energia electrică distribuită de întreprinderile de electricitate publice. Aceste tarife au fost împărțite în trei mari categorii :

a) tarife monome, unice pe țară, pentru consumatorii casnici, agricoli, pentru iluminat public și general, precum și la micii consumatori de forță sub 5 kW ;

b) tarife monome, diferențiate pe zone geografice, pentru consumatorii industriali de forță avînd o putere instalată mai mare de 5 kW și o putere absorbită sub 50 kW, precum și pentru consumatorii de foraj-extracție din industria petrolieră ;

c) tarife binome, diferențiate pe zone geografice, pentru consumatorii industriali avînd o putere racordată peste 50 kVA, sau o putere absorbită peste 50 kW.

Nivelul prețurilor la energia electrică, aplicate în această perioadă, au fost :

Tarife monome	*lei/kWh*
a) iluminat și utilizări casnice	0,60
b) iluminat general	1,10
c) iluminat public	0,90
d) forță mici consumatori 5—50 kW	0,60—0,95
e) forță în agricultură	0,35
f) revînzători	0,25
g) foraj-extracție din industria petrolieră	0,313—0,55

Tarife binome	*lei/kW*
a) taxa anuală de putere :	
— pentru 1 kW putere maximă absorbită	780—1524
— pentru 1 kVA putere racordată	528—1020
b) prețul energiei electrice în cazul :	*lei/kWh*
— măsurării pe partea tensiunii primare	0,25—0,33
— măsurării pe partea tensiunii secundare	0,26—0,34

În afara tarifului pentru energia electrică activă, începînd de la 1 ianuarie 1956 s-a introdus un sistem de bonificări-penalizări pentru factorul de putere, aplicat marilor consumatori industriali în funcție de factorul de putere mediu realizat. Valoarea neutrală a factorului de putere, pentru care nu se plăteau bonificări sau se percepeau penalizări, era 0,75 [5].

În august 1961, la consumul de energie electrică pentru iluminat și utilizări casnice, în locul tarifului monom s-a introdus un tarif degresiv pe tranșe de consum [3].

3. *Perioada 1963 — 1967.* Ca urmare a reașezării prețurilor pe întreaga economie, de la 1 ianuarie 1963 a avut loc o nouă schimbare a tarifelor de energie electrică. Cu această ocazie au fost introduse noi sisteme de tarifare, menite a stimula consumul de energie electrică, în general, și în special al celui din afara orelor de vîrf de sarcină ale sistemului energetic. Dintre sistemele noi de tarifare introduse se menționează :

a) tarife monome, diferențiate după ora de consum (pentru mici consumatori de forță de 5—50 kW, consumatorii de forță în agricultură și consumul de foraj-extracție în industria petrolieră) ;

b) tarife binome, diferențiate după posibilitățile de măsură în :

— tarif cu taxă fixă și preț pe energie, ambele diferențiate după ora de consum ;

— tarif cu taxă fixă unică și preț pe energie diferențiat după ora de consum ;

— tarif cu taxă fixă și preț de energie unic.

*) G. Panaitescu este inginer la C.S.P. ; M. Grăniceanu este inginer la Direcția electrificării din M.E.E.

Valorile tarifelor pentru energia electrică, aplicate de la 1 ianuarie 1963 — inclusiv tariful pentru iluminat şi utilizări casnice aplicat din august 1961—, sînt următoarele :

Tarife monome — *lei/kWh*

a) iluminat şi utilizări casnice :
- tranşa I (6 kWh/cameră şi lună — vara) (12 kWh/cameră şi lună — iarna) — 0,50
- tranşa a II-a, restul consumului — 0,30
- consum de noapte (pentru consumatorii care folosesc boilere cu acumulare) — 0,20

b) iluminat public — 0,60

c) iluminat general — 0,75

d) consumul magazinelor comerciale — 0,50

e) utilizări de forţă în agricultură — 0,30
- consum de noapte — 0,20

f) irigaţii (consum de energie numai în afara orelor de vîrf de sarcină) — 0,15

g) tracţiune electrică
- urbană şi interurbană (alimentată din reţele cu tensiunea sub 110 kV) — 0,30
- feroviară interurbană (alimentată din reţele cu tensiunea de 110 kV şi peste) :
- pentru consumul de noapte (între orele 22—7) — 0,14
- pentru consumul de zi (7—22) — 0,24

h) forţă mici consumatori de 5—50 kW :
- consum în orele de vîrf de sarcină — 0,80
- consum în afara orelor de vîrf de sarcină — 0,40

i) industria petrolieră (consum foraj-extracţie) :
- consum în orele de vîrf de sarcină — 0,35
- consum în afara orelor de vîrf de sarcină — 0,25

Tarife binome

j) Pentru consumatorii care au montate contoare cu două indicatoare de maxim şi două cadrane de măsură a energiei:

Categoria de consumator	Taxă fixă anuală de putere, lei		Preţul energiei electrice, lei /kWh	
	pentru 1 kW putere maximă absorbită în orele de vîrf de seară ale sistemului	pentru 1 kW putere absorbită în plus în afara orelor de vîrf de seară faţă de puterea absorbită în orele de vîrf se seară ale sistemului	consumată în orele de vîrf de seară ale sistemului	consumată în restul orelor
1. Consumatori industriali şi similari lor cu puteri absorbite peste 50 kW sau racordate peste 50 kVA	1092	504	0,25	0,16

k) Pentru consumatorii care au montate contoare cu un indicator de maxim şi două cadrane de măsură a energiei :

Categoria de consumator i	Taxă fixă anuală de putere pentru 1 kW putere maximă absorbită, lei	Preţul energiei electrice, lei/kWh	
		consumată în orele de vîrf de seară ale sistemului energetic	consumată în restul orelor
1. Consumatorii industriali şi similari lor, cu puteri absorbite peste 50 kW sau racordate peste 50 kVA	840	0,41	0,16

l) Pentru consumatorii care au montate contoare cu un cadran de măsură şi fără indicator de maxim, respectiv cu un cadran de măsură şi un indicator maxim :

Categoria de consumatori	Taxa fixă anuală de putere, lei		Preţul energiei electrice, lei/kWh
	pentru 1 kVA putere absorbită	pentru 1 kW putere maximă absorbită	
1. Consumatori industriali şi similari lor, cu puteri absorbite peste 50 kW sau racordate peste 50 kVA	816	960	0,18

Potrivit acestor tarife, consumatorii care în orele de vîrf de sarcină reduc puterea maximă absorbită beneficiază de următoarele reduceri ale tarifelor binome :

— 50% la taxa de putere, pentru consumatorii care în orele de vîrf de sarcină ale sistemului energetic reduc în mod permanent sarcina sub 50% din puterea maximă absorbită ;

— 75% la taxa de putere, pentru consumatorii care în orele de vîrf de sarcină ale sistemului energetic reduc în mod permanent sarcina sub 20% din puterea maximă absorbită ;

— 25% la taxa de putere, pentru consumatorii sezonieri care absorb energia numai în perioada 1 aprilie— 1 octombrie.

În situaţia în care consumatorii cărora li se aplică tariful binom depăşesc puterea aprobată pentru orele de vîrf de seară sau energia corespunzătoare cu peste 5%, pentru depăşirile respective se plăteşte o penalizare egală cu de 2 ori taxa tarifară corespunzătoare depăşirii, aplicată pentru luna respectivă [4].

O dată cu modificarea tarifelor de energie electrică s-a schimbat şi scara de bonificări-penalizări pentru factorul de putere mediu realizat de consumatorii industriali.

Astfel, valoarea neutrală a factorului de putere, care fusese stabilită iniţial la 0,75, a fost ridicată în 1960 la 0,85, iar începînd de la 1 ianuarie 1963, la 0,90.

Procentele de reduceri sau majorări ale valorii energiei electrice active aplicate în perioada 1963—1968, în funcţie de cos φ mediu realizat au fost (tabela 1)[1]:

Tabela 1

Factorul de putere cos φ mediu lunar	Procent de reducere (−) sau majorări (+) ale valorii energiei electrice active
1,00	−10
0,95	− 5
0,90	0
0,85	+ 5
0,80	+15
0,75	+25
0,70	+40
0,65	+60
0,60	+80

Pentru alte valori ale factorului de putere decît cele menţionate mai sus, procentul de reducere sau majorare a tarifului binom se stabileşte prin interpolare, respectiv extrapolare liniară.

Tarifele pentru energia electrică aplicate de la 1 ianuarie 1963 sînt în general mai reduse cu circa 32% faţă de cele anterioare.

Reduceri mai importante s-au acordat consumatorilor casnici, agricoli (pentru irigaţii), precum şi celor industriali care contribuie la aplatizarea curbei de sarcină.

Situaţia reducerii preţului mediu de vînzare a energiei electrice, realizat în perioada 1962—1967 la diferitele categorii de consumatori, este prezentată în tabela 2.

Tabela 2

Categoria de consumatori	Reducerea preţului mediu de vînzare a energiei electrice, realizat în perioada 1962—1967
1. Iluminat şi utilizări casnice	38,5*)
2. Iluminat public	33,3
3. Iluminat general	31,8
4. Consum comercial	54,5
5. Utilizări forţă în agricultură	14,3
6. Irigaţii (în afara orelor de vîrf)	57,2
7. Tracţiune electrică	3,5
8. Forţă mici consumatori	36,6
9. Foraj-extracţie în industria petrolieră	22,9
10. Forţă mari consumatori	36,5
din care cu tarif preferenţial	57,1
Total	31,6

*) se referă la perioada 1960—1967.

II. Evoluţia tarifului căldurii produse în centralele de termoficare publice în perioada 1958—1967.

Între anii 1958 şi 1967 se disting două perioade caracteristice privind tarifarea căldurii produse în centralele de termoficare:

1. *Perioada 1958—1962.* În această perioadă, tarifele pentru căldura livrată de centralele de termoficare publice erau diferenţiate de la centrală la centrală, în funcţie de preţul de cost de producere a acesteia. Datorită diferenţelor mari de costuri existente între diversele centrale, tarifele aplicate în funcţie de aceste valori nu reflectau totdeauna interesele generale, ceea ce constituia o frînă în dezvoltarea consumului de căldură.

2. *Perioada 1963 — 1967.* O dată cu reaşezarea tarifelor de energie electrică a avut loc şi o revizuire a tarifelor la căldură. Cu această ocazie au fost stabilite mai multe categorii de consumatori diferenţiate în funcţie de natura consumului.

Tarifele pentru căldura livrată acestor categorii de consumatori sînt unice pe ţară. Se exceptează căldura livrată pentru scopuri tehnologice din CET pe cărbune, date în funcţiune după 1 iulie 1962, pentru care se aplică tarife diferenţiate în funcţie de condiţiile locale. Tarifele stabilite din 1963 au fost următoarele:

Tarife monome — *lei/Gcal*

a) Căldură pentru încălzit şi utilizări casnice, livrată populaţiei (exclusiv costul energiei electrice consumate în punctele termice pentru pomparea agentului termic)* — 55

b) Căldură pentru încălzit, livrată instituţiilor, întreprinderilor sau organizaţiilor cooperatiste (exclusiv costul energiei electrice consumate în punctele termice pentru pomparea agentului termic)* — 55

c) Căldură pentru scopuri tehnologice, livrată micilor consumatori industriali care absorb:
- abur cu debite pînă la 1 Gcal/h — 43
- apă caldă cu debite pînă la 0,3 Gcal/h — 40

*) valabil de la 1 august 1968.

Tarife binome

d) Căldură pentru scopuri tehnologice, livrată la:

Categoria de consumator	Taxa lunară fixă pentru 1 Gcal debit maxim absorbit	Preţul căldurii, lei/Gcal
1 Consumatori industriali care absorb căldura sub formă de abur în scopuri tehnologice, peste 1 Gcal/h	6 600	32
2 Consumatori industriali care absorb căldura sub formă de apă caldă în scopuri tehnologice peste 0,3 Gcal/h	6 600	29

Pentru nerespectarea procentului de apă sau condensat returnat, contractat, marii consumatori industriali sînt

1) Din 1969 valoarea factorului de putere neutral a fost ridicată la 0,90—0,95, modificîndu-se în consecinţă şi procentele de reducere şi majorare a valorii energiei electrice active (HCM nr. 2763/1968).

penalizați cu următorii coeficienți tarifari de majorare a prețului căldurii :

Procentul de întoarcere a apei sau condensatului în raport cu cel contractat	Coeficienți tarifari de majorare a prețului căldurii pentru consumatorii obligați conform contractului să întoarcă la centrală apa sau condensatul		
	până la 25%	de la 25 la 50%	de 50% sau mai mare
	din cantitatea primită		
100	1,00	1,00	1,00
90	1,05	1,05	1,05
80	1,10	1,10	1,12
70	1,15	1,17	1,20
60	1,20	1,25	1,30
50	1,25	1,35	1,45
40	1,30	1,45	1,65
30	1,35	1,58	1,90
20	1,40	1,70	2,20
0	1,50	2,00	2,50

În cazul cînd se restituie apă sau condensat peste cantitățile contractate, furnizorul plătește consumatorului bonificații la tarif, după scara menționată mai jos :

Cantitatea de apă sau condensat returnată întreprinderii, în % față de cantitatea prevăzută în contract	Coeficienți tarifari de reducere a prețului căldurii
de la 101 la 110	0,98
de la 111 la 120	0,95
de la 121 la 130	0,90
de la 131 la 140	0,85
peste 141	0,80

Pentru valori intermediare ale procentului de întoarcere a apei sau condensatului în raport cu cel contractat, coeficienții tarifari de majorare sau reducere a prețului căldurii se interpolează liniar.

III. Evoluția consumului de energie electrică al diferitelor categorii de consumatori în perioada 1956—1962 și 1962—1967 și influența tarifării asupra dezvoltării acestui consum. În perioada 1956—1967 producția de energie electrică în R.S.România a crescut de la 4930 GWh la 24 779 GWh, adică de peste 5 ori. Defalcat pe perioade și producători, situația producției de energie electrică se prezintă ca în tabela 3.

Tabela 3

Specificație	Anul	Producția de energie electrică, GWh	Creșterea %	Ritmul mediu anual de creștere în perioada, %
Total	1956	4930	100	12,5
	1962	10087	203	
	1962	10087	100	19,7
	1967	24769	246	
Centrale publice	1956	3326	100	16,2
	1962	8112	846	
	1962	8112	100	22,2
	1967	22113	272	
Autoproducători	1956	1604	100	3,5
	1962	1975	123	
	1962	1975	100	6,1
	1967	2656	134	

Din datele tabelei 3 se desprind două aspecte importante :

a) sporirea ritmului de producție de la 12,5% în perioada 1956—1962, la 19,7% în perioada 1962—1967 ;

b) reducerea continuă a ponderii autoproducătorilor în totalul producției de energie electrică, și anume de la 32,5% în 1956, la 10,7% în 1967.

Creșterile importante realizate în producția de energie electrică se datorează atît sporirii numărului de consumatori, cît și intensificării folosirii energiei electrice de către consumatorii existenți.

În figura 1 se prezintă evoluția consumului de energie electrică al diferitelor categorii de consumatori în perioada 1956—1967. Ritmurile medii anuale de creștere a consumului de energie electrică în cele două perioade analizate, pe

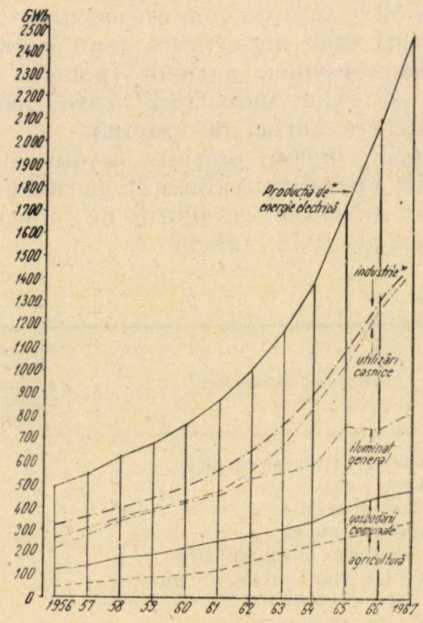


Fig. 1. Evoluția producției de energie electrică în R.S.România și a consumului principalelor categorii de consumatori în perioada 1956—1967. Scara 1 :10, pentru producția de energie electrică și consum industrial

diferite categorii de consumatori, sînt redate în tabela 4.

În perioada 1962—1967 se constată o majorare a ritmurilor de creștere a consumului față de perioada anterioară de tarifare la principalele categorii de consumatori, și anume la consumatorii casnici de la 13,5 la 20,9% și la cei industriali de la 12,2 la 17,8% [6].

Tabela 4

Categoria de consumatori	Consumul de energie electrică al diferitelor categorii de consumatori, GWh			Ritmul mediu anual de creştere a consumului, %	
	1956	1962	1967	1956–1962	1962–1967
1 Utilizări casnice	262	562	1449	13,5	20,9
2 Iluminat public	68	157	226	15,0	7,5
3 Iluminat general comercial	221	528	820	15,6	9,2
4 Agricultură	50	166	352	22,3	16,2
5 Gospodăria comunală	127	276	474	13,9	11,4
6 Industrie, transport şi construcţii	3255	6508	14785	12,2	17,8
7 Consum propriu în centrale şi reţele	920	1857	4587	12,4	19,7
8 Export — import	27	33	2076	3,4	229,0
Total	4930	10087	24769	12,5	19,7

Ca o consecinţă a acestor ritmuri diferite de creştere a consumului pe cele două tranşe, preţul mediu de vînzare al energiei electrice către populaţie a cunoscut o continuă reducere (tabela 6).

Pe măsura creşterii consumului casnic pe abonat, acest preţ mediu va cunoaşte şi în viitor o continuă scădere.

În perioada 1962—1967, consumul industrial de energie electrică (fără transport şi construcţii) a cunoscut de asemenea un ritm ridicat de creştere. Faţă de 6246 GWh realizaţi în 1962, consumul industrial a ajuns în 1967 la 14 224 GWh. Evoluţia acestui consum, pe ani, este redată în tabela 7.

Comparativ cu creşterea producţiei industriale, situaţia creşterii consumului industrial de energie electrică este prezentată în tabela 8.

În perioada 1962—1967 se constată o mărire permanentă a raportului dintre indicele de creştere a consumului de energie electrică şi cel al producţiei industriale. Această evoluţie arată

Tabela 5

Specificaţie	Consumul casnic de energie electrică, GWh						Ritmul mediu anual de creştere 1962–1967, %
	1962	1963	1964	1965	1966	1967	
1. Total consum din care:	562	672	855	1028	1279	1449	20,9
— tranşa I	291	323	380	425	468	508	11,8
— tranşa a II-a	271	349	475	603	811	941	28,6

Tabela 6

Specificaţie	Reducerea preţului mediu de vinzare al energiei electrice, în % faţă de anul 1961						
	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
Consum casnic	100	67	66	65	64	62	61

Tabela 7

Anul	1962	1963	1964	1965	1966	1967
Consum de energie electrică în industrie, GWh	6 246	7 265	8 687	10 366	12 686	14 224

În ceea ce priveşte ritmul de creştere a consumului casnic, este de remarcat că trecerea de la sistemul de tarifare monom la cel pe tranşe a determinat o intensificare a folosirii energiei electrice în gospodăriile casnice, fapt care rezultă şi din evoluţia consumului de energie electrică pe cele două tranşe, în perioada 1962 — 1967 (tabela 5).

În timp ce ritmul tranşei I urmăreşte evoluţia numărului de gospodării electrificate, ritmul tranşei a II-a urmăreşte gradul de dotare a consumatorilor cu aparate electrocasnice.

Tabela 8

Anul	Creşterea procentuală a producţiei globale industriale în perioada 1962–1967, faţă de 1962	Creşterea procentuală a consumului de energie electrică în perioada 1962–1967 faţă de 1962	Raport între indicele de creştere a consumului de energie electrică şi volumul producţiei industriale
1962	100	100	1,00
1963	112	116	1,04
1964	128	139	1,08
1965	145	166	1,14
1966	162	203	1,25
1967	182	229	1,26

folosirea din ce în ce mai intensă a energiei electrice în cadrul proceselor industriale, ca urmare a avantajelor pe care această formă de energie le are față de altele.

Un aport deosebit în creșterea rapidă a consumului de energie electrică în industrie l-a avut și prețul de vînzare al energiei electrice, care a marcat în această perioadă o continuă scădere.

Reducerea procentuală a prețului mediu de vînzare a energiei electrice la marii consumatori industriali în perioada 1962—1967 a fost următoarea :

Anul	1962	1963	1964	1965	1966	1967
Reducerea prețului mediu de vînzare a energiei electrice, în % față de 1962	100	71	69	66	64	63

Din cele de mai sus se constată o interdependență directă între reducerea prețului mediu de vînzare a energiei electrice și indicele de devansare a consumului de energie electrică față de volumul producției industriale.

În afara sporirii ritmului de creștere al consumului de energie electrică, noile tarife au avut o influență deosebită și asupra reglării curbei de sarcină și a creșterii valorii medii a factorului de putere la marii consumatori industriali.

În perioada 1962—1967 curba de sarcină pe întregul sistem energetic a cunoscut o mărire a gradului său de aplatizare, în special ca urmare a reglării substanțiale a curbei de sarcină a marilor consumatori industriali.

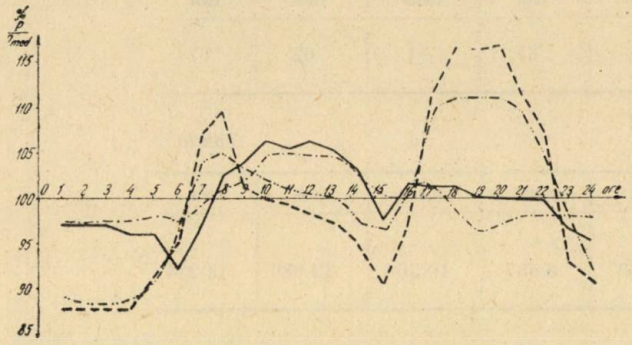


Fig. 2. Variația orară a consumului de energie electrică al sistemului energetic și al marilor consumatori industriali din zona de vîrf de sarcină în anii 1962 și 1967, raportată la puterea medie (100%).

— — — sistem energetic 1962;
— ·· — sistem energetic 1967;
——— consum industrial 1962;
—· —· consum industrial 1967.

În figura 2 se prezintă, în valori relative față de puterea medie, variația orară a consumului de energie electrică al întregului sistem și al marilor consumatori industriali, din ziua de vîrf de sarcină a sistemului din anii 1962 și 1967.

Din această diagramă rezultă că în perioada 1962—1967 consumul de noapte (între orele 22,00 și 6,00) al marilor consumatori a crescut de la 96,5 la circa 98,0%, iar al întregului sistem, de la 89,0 la circa 91,0%. În timpul orelor de vîrf de seară, situația valorilor relative ale consumului prezintă însă scăderi : de la 117 la 112% pe întregul sistem și de la 100 la 97% pentru marii consumatori industriali. Aceste reduceri ale consumului în timpul orelor de vîrf au avut o influență favorabilă asupra costurilor de producție ale consumatorilor respectivi.

Pentru a ilustra mai bine această influență, în cele ce urmează se vor da cîteva exemple :

Exemplul 1. O întreprindere industrială consumă într-un an 7 GWh, din care în timpul orelor de vîrf de seară 1 GWh, iar restul în afara acestor ore. Puterea maximă absorbită de consumator în timpul orelor de vîrf de seară (media maximelor lunare) este de 1200 kW, iar în afara acestor ore de 1400 kW. Cheltuielile cu achiziția energiei electrice rezultate din aplicarea actualelor tarife (tariful binom *j*), se ridică la :

a) cheltuieli pentru energia electrică consumată în timpul orelor de seară :

1 mil.kWh × 0,25 lei/kWh = 250 000 lei ;

b) cheltuieli pentru energia electrică consumată în afara orelor de vîrf seară :

6 mil.kWh × 0,16 lei/kWh = 960 000 lei ;

c) cheltuieli pentru puterea absorbită la vîrf :

1200 kW × 1092 lei/kW = 1 310 400 lei ;

d) cheltuieli pentru puterea suplimentară absorbită în afara orelor de vîrf :

(1400—1200) kW × 504 lei/kW = 100 800 lei ;

e) total cheltuieli anuale pentru consumul de energie electrică :

250 000 + 960 000 + 1 310 400 + 100 800 = 2 621 200 lei ;

f) prețul mediu de achiziție al energiei electrice :

$$p_m = \frac{\text{cheltuieli anuale}}{\text{energia electrică achiziționată}} = \frac{2\,621\,000}{7\,000\,000} =$$

$$= 0{,}374 \text{ lei/kWh.}$$

În situația aplicării vechilor tarife (tarifele medii din perioada 1955—1962), cheltuielile cu energia electrică ar fi fost :

a) pentru energia electrică consumată :

7 mil.kWh × 0,29 lei/kWh = 2 030 000 lei ;

b) pentru puterea maximă absorbită :

1400 kW × 1150 lei/kW = 1 610 000 lei ;

c) total cheltuieli anuale pentru consumul de energie electrică :

2 030 000 + 1 610 000 = 3 640 000 lei ;

d) prețul mediu de achiziție al energiei electrice :

$$p_m = \frac{\text{cheltuieli anuale}}{\text{energia electrică achiziționată}} = \frac{3\,640\,000}{7\,000\,000} =$$

$$= 0{,}52 \text{ lei/kWh.}$$

Influența reducerii tarifare efectuate cu ocazia reașezării prețurilor la 1 ianuarie 1963 este mai semnificativă în cazul consumatorilor care realizează reduceri însemnate ale consumului în timpul orelor de vîrf de sarcină.

Exemplul 2. Se presupune un consumator similar cu cel dat în exemplul anterior, care însă în timpul orelor de vîrf de seară absoarbe o putere de 680 kW, în loc de 1200 kW, şi consumă în aceste ore numai 0,6 GWh, faţă de 1 GWh.

Preţul mediu de revenire al energiei electrice în acest caz va fi:

a) *cu tarifele actuale*:

— cheltuieli pentru energia electrică consumată în timpul orelor de vîrf de seară: 600 000 kWh × 0,25 lei/kWh = = 150 000 lei;

— cheltuieli pentru energia electrică consumată în afara orelor de vîrf de seară: 6,4 mil. kWh × 0,16 lei/kWh = = 1 024 000 lei;

— cheltuieli pentru puterea absorbită în timpul orelor de vîrf de seară: $680 \text{ kW} \times \frac{1092 \text{ lei/kW}}{2} = 371\ 280$ lei;

— cheltuieli pentru puterea suplimentară absorbită în afara orelor de vîrf: $(1400-680) \text{ kW} \times \frac{504 \text{ lei/kW}}{2} =$

$= 181\ 440$ lei.

Total cheltuieli pentru consumul de energie electrică: 150 000 + 1 024 000 + 371 280 + 181 440 = 1 726 720 lei.

Preţul mediu de achiziţie al energiei electrice:

$$\frac{1\ 726\ 720 \text{ lei}}{7\ 000\ 000 \text{ kWh}} = 0{,}246 \text{ lei/kWh}.$$

b) *Conform vechilor tarife*, preţul mediu de achiziţie al energiei electrice rămîne neschimbat, şi anume 0,52 lei/kWh.

Reducerea tarifară în cazul unui astfel de consumator este de 0,52—0,246 = 0,274 lei/kWh, respectiv de circa 53%. Aceste reduceri însemnate ale preţului de achiziţie al energiei electrice constituie un element stimulator în raţionalizarea consumului şi aplatizarea curbei de sarcină a sistemului energetic.

Aplicarea noilor tarife diferenţiate după ora de consum, precum şi a celor sezoniere a determinat, în perioada 1961—1967 faţă de 1955—1961, o creştere mai mare a consumului în timpul verii, decît cel mediu anual (tabela 9).

Astfel, în timp ce în perioada 1955—1961 procentele lunare de creştere a producţiei de energie electrică sînt apropiate de cel anual, în perioada 1961—1967 creşterile din lunile de vară sînt cu circa 3% mai mari decît creşterea anuală.

După cum rezultă din figura 3, un fenomen asemănător se întîlneşte şi la variaţia lunară a consumului casnic de energie electrică. Faţă de anul 1960, cînd în lunile de vară consumul era cu circa 60% mai redus decît în lunile de iarnă, în anul 1967 acest procent s-a ridicat la peste 75%.

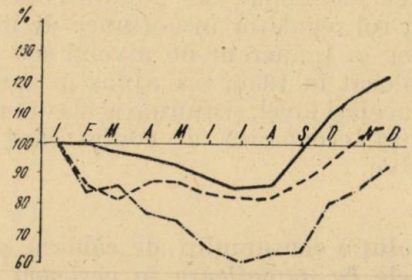


Fig. 3. Variaţia lunară a energiei electrice livrată de I.D.E. Bucureşti consumatorilor casnici, în anii 1960, 1963 şi 1967 (% faţă de consumul lunii ianuarie):
——— 1967; – – – – 1963; – · – · – 1960.

În ceea ce priveşte îmbunătăţirea factorului de putere la marii consumatori industriali, aceasta a fost influenţată în mod direct de valoarea neutrală a cos φ, în raport cu care s-au aplicat procentele de majorare sau reducere ale tarifului de energie electrică activă. Ca urmare a ridicării valorilor neutrale a factorului de putere de la 0,75 la 0,85, şi apoi la 0,90 s-au luat măsuri continue pentru îmbunătăţirea factorului de putere la consumatori.

În tabela 10 se prezintă evoluţia factorului de putere mediu anual din perioada 1956—1967 la

Tabela 10

Nr. crt.	Ramura industrială	Factorul de putere mediu anual realizat			
		1956	1960	1962	1967
1	Industria petrolului	0,63	0,85	0,87	0,93
2	Industria chimică	0,81	0,85	0,89	0,93
3	Industria cimentului	0,76	0,89	0,90	0,95
4	Industria constructoare de maşini	0,76	0,87	0,89	0,94
5	Industria textilă	0,78	0,86	0,88	0,95
6	Industria hîrtie-celuloză	0,93	0,91	0,92	0,93
7	Industria siderurgică	0,87	0,87	0,91	0,94
8	Industria alimentară	0,76	0,84	0,86	0,94
	Total	0,78	0,86	0,89	0,94

Tabela 9

Luna	Producţia de energie electrică, în GWh pe sistem în anii			Creşterea producţiei de energie electrică, %		Raportul dintre procentul de creştere lunar şi cel anual	
	1955	1961	1967	1955—1961	1961—1967	1955—1961	1961—1967
Ianuarie	365	736	2109	202	287	1,015	1,009
Februarie	342	685	1938	200	283	1,005	0,989
Martie	377	728	2092	193	297	0,969	1,088
Aprilie	351	657	1940	187	295	0,939	1,031
Mai	343	682	1975	199	289	1,000	1,010
Iunie	340	656	1925	193	293	0,960	1,024
Iulie	332	663	1940	199	293	1,000	1,024
August	340	698	2047	205	293	1,030	1,024
Septembrie	355	722	2065	203	286	1,020	1,000
Octombrie	380	785	2147	207	274	1,040	0,958
Noiembrie	391	802	2219	205	276	1,030	0,965
Decembrie	424	843	2365	199	280	1,000	0,979
Total an	4340	8657	24766	199	286	1,000	1,000

marii consumatori industriali din cadrul diverselor ramuri industriale.

Aplicarea sistemului de bonificări-penalizări a avut un rol regulator în acțiunea de îmbunătățire a cos φ. Indiferent de nivelul cos φ de la care s-a plecat în 1956, s-a ajuns în anul 1967 practic la același nivel, și anume acela determinat de eficiența economică a compensării energiei reactive.

IV. Evoluția consumului de căldură produsă în centralele de termoficare în perioada 1958—1967. În perioada 1958—1967, căldura totală livrată din centralele de termoficare în R.S. România a sporit de la 7488 mii Gcal la 29 055 mii Gcal, respectiv de circa 3,9 ori. Defalcat pe perioade și producători, situația căldurii livrate din centralele de termoficare este redată în tabela 11.

Tabela 11

Specificație	Anul	Căldură livrată din CET, mii Gcal	Creșterea, %	Ritmul mediu anual de creștere în perioada, %
Total R.S. România	1958	7 488	100	12,7
	1962	12 054	161	
	1962	12 054	100	19,3
	1967	29 055	241	
Centrale de termoficare publice	1958	397	100	61,9
	1962	2 717	684	
	1962	2 717	100	36,8
	1967	12 930	477	
Centrale de termoficare ale autoproducătorilor	1958	7 091	100	7,2
	1962	9 337	132	
	1962	9 337	100	11,6
	1967	16 125	173	

Din datele prezentate rezultă aceleași concluzii ca și la producția de energie electrică, și anume :

— sporirea ritmului de producție a căldurii în regim de termoficare de la 12,7%, în perioada 1958—1962, la 19,3% în perioada 1962—1966 ;

— reducerea continuă a ponderii autoproducătorilor în totalul producției de căldură (realizată în regim de termoficare) de la 94,7 % în 1958, la 77,5%, în 1962, și la 58,5% în 1966.

Creșterea mai rapidă a producției de căldură în centralele de termoficare publice se explică prin aceea că tarifele pentru căldura livrată din aceste centrale sînt mult mai scăzute decît prețul de cost de producere a căldurii în condiții locale și că, în afara consumului industrial, o dezvoltare din ce în ce mai mare a început s-o capete consumul urban.

Evoluția consumului de căldură livrată de centralele de termoficare publice diferitelor categorii de consumatori în perioada 1958—1967 se prezintă în figura 4. Dacă în anul 1958

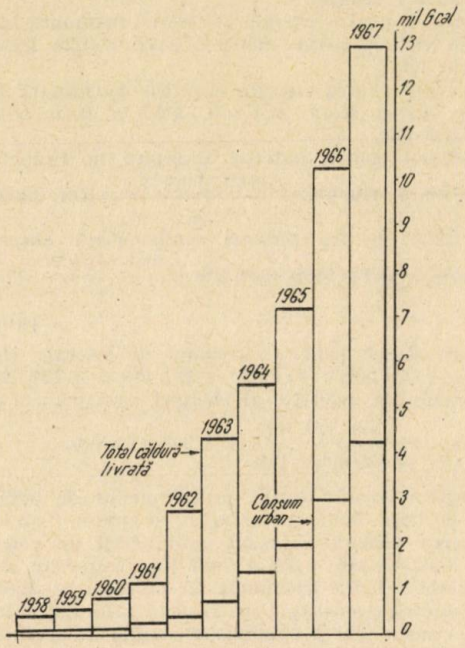


Fig. 4. Evoluția consumului de căldură din centralel publice de termoficare în perioada 1958—1967.

ponderea consumului urban față de totalul consumului de căldură era neînsemnată, în anul 1967 acest consum reprezenta circa 30%. Este de menționat că în consumul urban a fost introdus și consumul agricol, care în ultima perioadă a început să capete o dezvoltare foarte rapidă.

Concluzii. În perioada 1950—1967 tarifarea energiei electrice și a căldurii în R.S. România a cunoscut modificări esențiale, menite să stimuleze consumul de energie electrică și căldură din centralele publice și să favorizeze luarea unor măsuri de raționalizare, în special în timpul orelor de vîrf de sarcină.

Față de perioada 1956—1962, noile tarife pentru energia electrică aplicate cu începere de la 1 ianuarie 1963 sînt mai reduse cu circa 32%. Această reducere substanțială, combinată cu introducerea unor noi sisteme tarifare, a determinat atît o sporire a ritmurilor de consum, cît și o îmbunătățire a indicilor de utilizare. Pe întregul sistem, ritmul de creștere a producției în perioada 1962—1967 a atins cifra de 19,7% față de 12,5% realizat în perioada 1956—1962.

Ca urmare a aplicării tarifelor diferențiate după ora de consum, în perioada 1962—1967 s-a înregistrat o creștere a producției în lunile de vară cu circa 3% mai mult decît creșterea pe

total an și o reducere (în valori relative) a vîrfului maxim anual cu circa 3%. La această aplatizare a curbei de sarcină au contribuit în special marii consumatori industriali, care au ajuns în anul 1967 să înregistreze în timpul nopții un consum egal cu cel mediu zilnic.

În domeniul producției de căldură se constată un fenomen asemănător, și anume acela al sporirii ritmului de producție în centralele de termoficare publice o dată cu reducerea tarifelor pentru căldura livrată din aceste centrale.

Avînd în vedere efectul pozitiv pe care îl are tarifarea în dezvoltarea rațională și eficientă a consumului de energie electrică și căldură, este necesar ca și în viitor să se acorde o atenție deosebită acestei probleme, în vederea stabilirii și aplicării celor mai indicate sisteme tarifare.

Bibliografie

[1] * * * Anuarul statistic al R.S. România, 1957—1967.

[2] Panaitescu, G. *Tarifarea energiei electrice în R.P.R.* Energetica și Hidrotehnica nr. 5, 1955.

[3] Panaitescu, G. *Noul tarif pentru energia electrică consumată pentru iluminat și utilizări casnice în R.P.R.* Energetica nr. 8, 1961.

[4] * * * *Catalogul M.E.E. 91 EL 6 privind tarifele de energie electrică și căldură* (aprobate prin HCM nr. 1279/1962).

[5] Panaitescu, G. și Grăniceanu, M. *Realizări și perspective privind îmbunătățirea factorului de putere la consumatori și în sistemul energetic.* Energetica nr. 4, 1968.

[6] Grăniceanu, M. *La tarification de l'energie électrique et de la chaleur en Roumanie et son influence sur le developpement de la consomation.* Simpozion CEE-ONU, București, mai 1968.

(Articol intrat în redacție la 5 septembrie 1968)

—— o ——

Modelarea proceselor termice din turnurile de răcire peliculare

Ing. **N. Oancea** *)

Cu toate că sectorul energetic se dezvoltă într-un ritm tot mai rapid, centralele termoelectrice situîndu-se la loc de frunte, turnurile de răcire continuă să fie construite și astăzi fără o cunoaștere precisă a legilor care guvernează procesele conjugate de schimb termic și de masă.

La această situație contribuie — după cum arată Spalding [7]— și faptul că raportul dintre cercetările publicate și cercetările efectuate în domeniul turnurilor de răcire este mic. Fenomenul se explică prin interesul firmelor comerciale de a-și păstra poziția lor. Dar procedîndu-se astfel, nu se poate progresa, iar îmbunătățirea și optimizarea turnurilor de răcire nu ating nivelul cerințelor pe care economia le are în toate domeniile de activitate. După părerea autorului, datele publicate în literatură sînt prezentate de cele mai multe ori incomplet, fără o precizare a condițiilor de contur și a metodei folosite pentru prelucrarea experiențelor.

Literatura de specialitate străină se referă, în cel mai bun caz, la experimentări făcute în condiții climatice destul de diferite de condițiile țării noastre, ceea ce face și mai discutabilă folosirea acestor date experimentale pentru proiectarea turnurilor de răcire destinate să lucreze la noi.

*) N. Oancea este asistent la catedra de termotehnică a Institutului politehnic din Timișoara.

Funcționarea turnurilor de răcire pe timp de ceață și pe timp călduros este puțin cunoscută. În special, atunci cînd gradienții de concentrații și de temperaturi sînt mici, ipotezele simplificatoare acceptate în majoritatea cazurilor dau erori mult prea mari, și în aceste cazuri rezultatele teoretice nu mai pot fi puse de acord cu experimentările. Din acest motiv, în cadrul Institutului politehnic Timișoara au fost făcute o serie de cercetări experimentale asupra schimbului de căldură în turnuri de răcire folosindu-se similitudinea termică, similitudinea curgerii și similitudinea schimbului de substanță.

1. Instalația experimentală. Cercetările experimentale, începute la Timișoara în perioada 1958—1959 de regretatul conf. dr. ing. N. Boboescu, pe un stand de laborator, au prilejuit verificarea unor ipoteze teoretice, standul fiind prima instalație românească în acest domeniu.

Încercările efectuate de autor pe stația-pilot construită în perioada 1964—1965 — la care se referă articolul de față — sînt o continuare a încercărilor făcute anterior. Întreaga activitate este desfășurată sub conducerea și îndrumarea directă a prof. dr. docent ing. I. Vlădea, șeful catedrei de termotehnică de la Institutul politehnic din Timișoara.

Aspectul general al instalației este prezentat în figura 1.

Instalația este alcătuită dintr-un circuit de aer, încălzit electric și umezit cu vapori produși după necesitate, de un aparat Lorentz, ceea ce permite corectarea unor parametri de mare importanță : umiditatea și termperatura aerului proaspăt. Aerul este aspirat din exteriorul laboratorului, iar debitul acestuia este măsurat cu o diafragmă dublă.

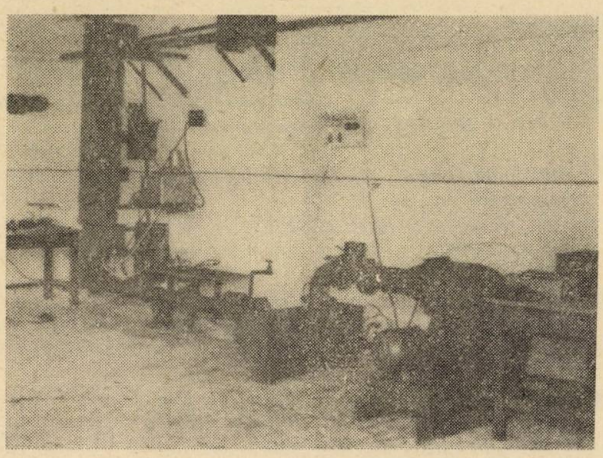


Fig. 1. Aspectul general al instalației.

Circuitul de apă este realizat cu un ultratermostat U 10, care asigură încălzirea și circulația apei, cu o electropompă cu roți dințate și termoplonjoare electrice.

Elementul de schimb este alcătuit dintr-o placă de azbociment de dimensiunile 1800 × ×300 mm, încastrată într-un uluc din lemn. Pe partea opusă canalului, placa de azbociment este izolată cu ampora.

Ulucul din lemn este acoperit cu un capac cu pereți dubli (fig. 2).

Prin acest montaj se asigură posibilitatea studierii influenței distanței dintre plăci, înlocuindu-se, după dorință, peretele dublu cu un altul de o grosime convenabilă. În același timp, pe partea canalului de aer, perna de aer din interiorul capacului dublu realizează o izolație termică suplimentară.

Temperatura și umiditatea aerului se măsoară cu ajutorul psihrometrului Asmann, care se așază în partea inferioară a ulucului pentru măsurarea parametrilor aerului proaspăt și deasupra instalației pentru măsurarea parametrilor aerului vehiculat. După intrarea în regim, temperatura aerului este menținută constantă prin corectarea variațiilor de temperatură ale mediului ambiant, cu ajutorul unei rezistențe variabile, montată în circuitul instalației de încălzire.

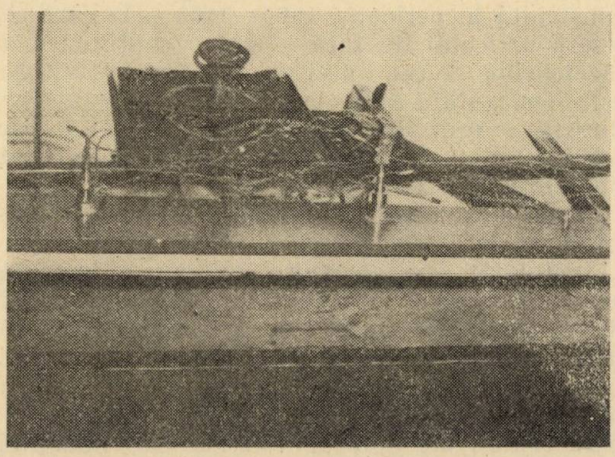


Fig. 2. Elementul de schimb și ulucul din lemn.

Temperatura apei este determinată cu un cîmp de termocuple cupru-constantan, conectate la un galvanometru cu spot luminos și scală exterioară. Placa de azbociment este implantată cu un cîmp de 25 termocuple, așezate la cinci nivele, echidistanțate pe lățimea plăcii. Punctele de sudură sînt așezate la circa 0,5 mm deasupra plăcii și sînt dirijate în sensul curentului de apă, în așa fel încît firele de cupru și de constantan să fie spălate pe o lungime de 5—7 mm de la sudură de curentul de apă.

Întreaga instalație (rezervor, placă de azbociment, uluc de aer) este suspendată pe două șuruburi cu pas fin, cu care se reglează periodic uniformitatea filmului de apă după lățimea plăcii. Reglarea fină se realizează cu instalația în funcțiune.

Temperaturile apei calde și reci sînt controlate și cu două termometre cu mercur cu diviziuni de 1/10°C.

Placa de azbociment este înecată în rezervorul inferior, pentru a se evita pierderile de aer de răcire.

Debitul de apă este măsurat cu două debitmetre de viteză cu rotor cu paletaj vertical și periodic și cu vas etalonat.

2. Prelucrarea datelor experimentale. Datele experimentale au fost prelucrate și interpretate în coordonate multiple, pentru a se putea aprecia, în comparație cu datele din literatură, performanțele instalației cercetate și pentru a se stabili sistemul de coordonate pentru o modelare convenabilă a fenomenului.

În general s-a urmărit efectul vitezei aerului, al debitului de apă, al distanței dintre plăci, al parametrilor aerului și ai apei asupra procesului, iar concluziile au fost trasate pe diagrame. Reprezentarea s-a făcut în coordonate Ke — λ, σ — Re, Nu_D — Re, σ — W_L etc. Criteriul Reynolds s-a calculat și pentru apă și pentru aer. Dintre acestea, Ke — λ s-au dovedit mai convenabile pentru generalizare.

3. Rezultate experimentale. În cele ce urmează se prezintă rezultatele obținute în cercetarea influenței aerului proaspăt asupra cifrelor de transfer de masă. Pentru aceasta s-au organizat cinci serii a cîte cinci experiențe, notate $C_1 — C_V$, care se deosebesc prin debitul specific de aer. Parametrii principali ai seriilor C sînt redați în tabela 1.

Rezultatele experimentale obținute, prelucrate în coordonate logaritmice Nu_D — Re, sînt prezentate în diagramele din figurile 3 și 4.

Se observă că punctele se înscriu destul de bine pe cîte o dreaptă cu panta de 0,65 pentru fiecare serie. Dreptele sînt așezate spre valori tot mai coborîte ale cifrei de transfer de masă,

Tabela 1

Seria	t_{w_2}	G_w, $\left[\frac{kg}{h}\right]$	G_L $\left[\frac{kg}{h}\right]$	t_{L_1}	x_{L_1}	φ_{L_1}	λ_L	Nr. exper.
C_I	40,7	59,5—60,8	57,8—106	27,0	13,5	58	0,97—1,80	5
C_{II}	40,7	59,5—60,5	57,8—106	27,0	13,0	13	0,97—1,80	5
C_{III}	40,7	59,0—60,5	53,5—104	13,5	3,0	32	0,91—1,76	5
C_{IV}	36,8	61,5—62,0	61,0—113	27,0	13,5	58	0,98—1,84	5
C_V	36,8	60,5—63,5	58,0—113	27,0	3,0	13	0,92—1,87	5

pe măsură ce scade fie umiditatea absolută a aerului, fie temperatura termometrului uscat a acestuia, fie şi temperatura şi umiditatea absolută simultan.

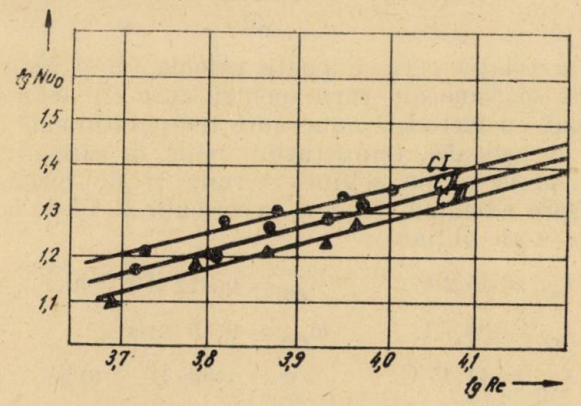


Fig. 3. Dependenţa experimentală $Nu_D = f(Re)$ pentru experienţele din seriile $C_I - C_{III}$.

Explicaţia acestui fenomen este în legătură cu metoda de calcul folosită pentru prelucrarea datelor experimentale.

Prin întrebuinţarea ecuaţiei simplificate a lui M e r k e l se consideră că punctul de atracţie al procesului se găseşte pe curba-limită, deşi, după cum a arătat B o s n j a k o v i ć [1], chiar şi în cazul simplificat al psihrometrului, din cauza fluxului suplimentar al lui S t e f a n, $\alpha/\sigma \cdot c_p$ nu este egal cu unitatea. Această eroare se notează cu ΔQ_1.

În calculele curente se neglijează modificarea debitului de apă în urma evaporării şi, prin aceasta, căldura conţinută de această apă. Eroarea introdusă prin neglijarea apei evaporate se notează cu ΔQ_2.

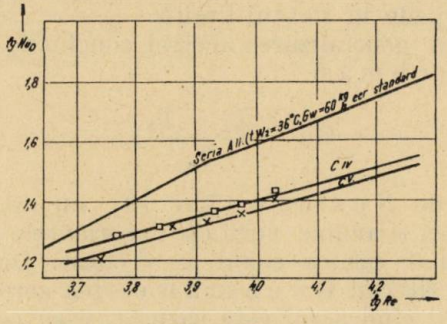


Fig. 4. Dependenţa experimentală $Nu_D = f(Re)$ pentru experienţele din seriile $C_{IV} - C_V$.

Calculele se fac cu temperatura medie a curentului, şi prin aceasta se neglijează căderea de temperatură în peliculă. Eroarea introdusă prin această simplificare este ΔQ_3.

Efectul erorilor $\Delta Q_1 - \Delta Q_3$ asupra procesului este prezentat în figura 5.

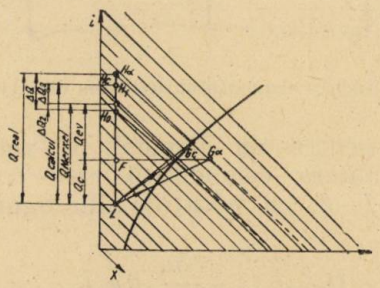


Fig. 5. Efectul simplificărilor $\Delta Q_1 - \Delta Q_3$ asupra procesului în diagrama $i - x$.

Se observă că, pentru cazul considerat $\alpha/\sigma \cdot c_p > 1$, erorile au semne diferite, astfel încît eroarea totală este :

$$\Delta Q - \Delta Q_1 - \Delta Q_2 - \Delta Q_3. \qquad (1)$$

După părerea autorului, deplasarea dreptelor din figurile 3 şi 4 este determinată de eroarea ΔQ_3. H a ü s s l e r [4] a determinat experimental, în timpul evaporării unei suprafeţe orizontale spălată de un curent de aer, alura cîmpului de temperatură în peliculă şi în stratul-limită apă-aer, folosind termometre cu rezistenţă din sîrmă de nichel, şi a constatat căderi importante de temperatură în cazul unor diferenţe mari de potenţiale apă-aer. Rezultatele experienţelor sale sînt prezentate în figura 6.

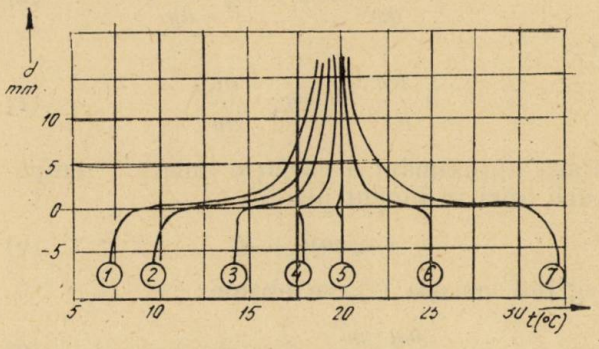


Fig. 6. Alura gradientului de temperatură în peliculă după Haüssler.

În cazul experienţelor noastre, pe măsură ce a crescut diferenţa de concentraţii, de temperaturi sau ambele diferenţe simultan, pelicula a fost răcită tot mai intens, şi prin aceasta a crescut eroarea ΔQ_3.

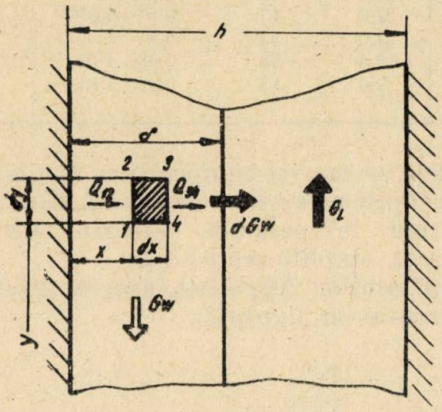


Fig. 7. Răcirea elementului de volum din peliculă.

Scriind pentru un element de volum din peliculă căldura elementară care trece prin suprafaţa *1—2*, cu notaţiile din figura 7, se obţine :

$$Q_{12} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \cdot dy \cdot 1, \qquad (2)$$

şi, prin suprafaţa *3—4*

$$Q_{34} = -\lambda \frac{\partial}{\partial x}\left(t + \frac{\partial t}{\partial x} \cdot dx\right) \cdot dy, \qquad (3)$$

se obţine, prin diferenţa celor două expresii, căldura cedată de elementul de volum considerat :

$$dQ = Q_{34} - Q_{12} = -\lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \cdot dx \cdot dy. \qquad (4)$$

Pe de altă parte :

$$dQ = \rho \cdot c_p \cdot dx \cdot dy\left(w_x \cdot \frac{\partial t}{\partial x} + w_y \cdot \frac{\partial t}{\partial y}\right). \qquad (5)$$

Admitem că pelicula are o curgere laminară $w_x = 0$, $w_y = \text{const}$. În acest caz :

$$-\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \rho \cdot c \cdot w_y \cdot \frac{\partial t}{\partial y}, \qquad (6)$$

sau :

$$a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = -w_y \cdot \frac{\partial t}{\partial y}. \qquad (7)$$

Dacă aproximăm o variaţie liniară a temperaturii apei în lungul plăcii :

$$t \cong my + n, \qquad (8)$$

integrînd ecuaţia (7), se obţine :

$$t = \frac{wy \cdot m}{2a} \cdot x^2 + px + q. \qquad (9)$$

În relaţia (9), p şi q sînt constante de integrare. Valoarea acestora o vom determina din condiţiile de contur, şi anume :

$$\text{pentru } x = 0,\ t = t_{wm} \text{ şi } \frac{\partial t}{\partial x} = 0. \qquad (10)$$

Relaţia (9) devine :

$$t = t_{wm} - \frac{wy \cdot m}{2a} \cdot x^2. \qquad (11)$$

Cu relaţia (11) se poate calcula temperatura peliculei la distanţa x de placă. Pentru suprafaţa peliculei, de grosime δ, temperatura va fi :

$$t_s = t_{wm} - \frac{wy \cdot m}{2a} \delta^2. \qquad (12)$$

Cu relaţia (11) se poate calcula, la o anumită secţiune din turn, pentru care s-a determinat cu metodele cunoscute temperatura medie a peliculei, temperatura reală la care are loc procesul de schimb termic şi de masă.

Spre exemplu, pentru experienţa B-VI-3, la care s-au obţinut :

$t_{w2} = 46{,}2°C$ $\qquad$ $\delta_{pel} = 0{,}312 \cdot 10^{-3}$ m.

$t_{w1} = 36{,}7°C$ $\qquad$ $w_{apă} = 0{,}45$ m/s

$t_{wm} = 41{,}45°C$ $\qquad$ $a = 1{,}52 \cdot 10^{-7}$ m²/s

calculînd temperatura medie a suprafeţei peliculei cu relaţia (12), se obţine :

$$t = 40{,}03°C.$$

Calculînd coeficientul de transfer de masă prin metoda S p a n g e m a c h e r [10], pentru temperatura medie a curentului şi pentru temperatura medie a peliculei, se obţine :

$\sigma_M = 112$ kg/m². h pentru temperatura medie a curentului ;

$\sigma = 101$ kg/m² · h pentru temperatura medie a peliculei.

Comparînd cele două rezultate, se constată că, deşi temperatura medie a peliculei a fost mai mică decît temperatura medie a curentului cu numai 1,42 %, coeficientul de schimb de masă s-a micşorat cu 10,9 %. Explicaţia este că la temperaturi ridicate potenţialele de concentraţii cresc repede în stratul-limită.

Pentru generalizarea acestei concluzii, criteriul G u c h m a n

$$\text{Gu} = \frac{T_L - T_0}{T_L}, \qquad (13)$$

propus de N e s t e r e n k o [9] nu este cuprinzător, şi anume verifică experienţele noastre numai pentru cazul $x = \text{const}$. De asemenea criteriul G u c h m a n devine zero pentru cazul cînd aerul este saturat, ceea ce conduce la concluzii absurde, infirmate de practică. Este ştiut că, dacă aerul este saturat la o

temperatură mai mică decît temperatura apei, la început va avea loc numai transfer termic și apoi, prin încălzirea aerului și scăderea umidității acestuia, și un transfer de substanță.

Relațiile criteriale:

$$Nu = K \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175}, \quad (14)$$

$$Nu_D = K \cdot Re^{0,5} \cdot Sc^{0,33} \cdot Gu^{0,175}, \quad (15)$$

recomandate de N e s t e r e n k o [9], arată că schimbul termic și de masă se anulează pentru starea de saturație, ceea ce nu corespunde nici teoriei și nici datelor experimentale. Pe de altă parte, turnurile de răcire funcționează tocmai în domeniul de saturație, fapt care exclude posibilitatea folosirii criteriului Guchman pentru calcule.

În scopul generalizării datelor experimentale obținute și în acord cu rezultatele teoretice din lucrare, un simplex de forma:

$$I = \frac{i_w}{i_w - i_L - i_{w0}}, \quad (16)$$

în care

i_w este entalpia aerului la saturație, la temperatura apei calde;
i_L — entalpia aerului proaspăt;
i_{w0} — o constantă care are dimensiunile unei entalpii și care evită concluzii absurde pentru cazul cînd $i_w - i_L = 0$,

permite gruparea curbelor experimentale.

În acest caz, relațiile criteriale de schimb termic și de masă au forma:

$$Nu_D = f(Re.Sc.I), \quad (17)$$

$$Nu = f(Re.Pr.I). \quad (18)$$

Pentru regimurile de lucru și tipul de instalație cercetat, simplexul I intervine la exponentul 0,12. Bineînțeles, pentru alte regimuri de lucru și pentru alte condiții de contur, simplexul I poate interveni cu alt exponent, ceea ce nu modifică cu nimic concluziile.

Notații

α — coeficient de transfer termic (W/m² °K)
σ — coeficient de evaporare (kg/m²·h)
c_p — căldură specifică la presiune constantă (kJ/kg.°K)
$Ke = \frac{\sigma \cdot S}{G_w}$ — cifră Merkel, adimensională
λ — debit specific de aer (kg aer/kg apă)
Re — criteriul Reynolds, adimensional
$Nu_D = \frac{\beta_1}{D}$ — criteriul Nusselt pentru schimbul de masă, adimensional
$Nu = \frac{\alpha_1}{\lambda}$ — criteriul Nusselt pentru schimbul de căldură, adimensional
$Gu = \frac{T_1 - Tc}{T_L}$ — criteriul Guchman, adimensional
$Le = \frac{a}{D}$ — criteriul Lewis, adimensional
$Pr = \frac{\nu}{a}$ — criteriul Prandtl, adimensional
$Sc = \frac{\nu}{D}$ — criteriul Schmith, adimensional
D — coeficient de difuzie (m²/h)
G_w — debit de apă (kg/h)
W_L — viteza aerului (m/s)
λ — coeficient de conductivitate termică (W/m.°K)
a — coeficient de difuzibilitate termică (m²/h)

Indici

w — pentru apă
L — pentru aer
x, y — direcții de referință
s — la suprafața peliculei
m — valoare medie

Bibliografie

[1] B o s n j a k o v i ć, Fr. *Technische Thermodynamik.* II Theil. Aufl. Dresden, 1960.
[2] V l ă d e a, I. *Beiträge zur des Wärme und Stoffaustausches in Kühltürmen mit Filmbereisulung.* Luft und Kältetechnik nr. 2, 1968.
[3] V l ă d e a, I. și O a n c e a, N. *Dependența experimentală a influenței parametrilor aerului la intrare asupra proceselor de schimb termic și de masă.* Bul. Institutului politehnic Timișoara.
[4] H a ü s s l e r, W. *Über die Temperaturprofile beiderseites einer verdunstendan Wasseroberfläche.* Die Technik, 1967.
[5] B o b o e s c u, N. *Studiu teoretic și experimental al schimbului de căldură și substanță în instalațiile de răcire cu tiraj forțat sistem pelicular.* Disertație, 1959.
[6] O a n c e a, N. *Asupra proceselor de schimb termic și de masă în turnurile de răcire peliculare.* Teză de doctorat.
[7] S p a l d i n g, D. B. *Les tours de refroidissement à ventilation naturelle, considerées du point de vue thermique.* Revue Générale de Thermique, 1966.
[8] M e r k e l, F. *Verdunstungskühlung.* VDI Forschungheft, 275—1925.
[9] N e s t e r e n k o, V. A. *Teplo i masoobmen pri isparenii jidkosti so svobodnoi poverhnosti.* I.T.F. XXIV, nr. 4, 1954.
[10] S p a n g e m a c h e r, K. *Berechnung von Kühltürmen und Einspritzkühlern mit Hilfe einer Verdunstungskenzohl.* BWK nr. 5, 1958.

(Articol intrat în redacție la 18 noiembrie 1968)

— o —

Instalație experimentală de stingere uscată a cocsului

Ing. **W. Krisch** și chim. **V. Stezar***)

Utilizarea căldurii fizice a cocsului după terminarea procesului de cocsificare constituie o sursă de recuperări energetice importante, care se cifrează pentru 1000 t cocs la circa 220 Gcal. IPROMET, în colaborare cu I.C.M., a experimentat la Uzina „Victoria" — Călan o instalație de stingere uscată a cocsului, în

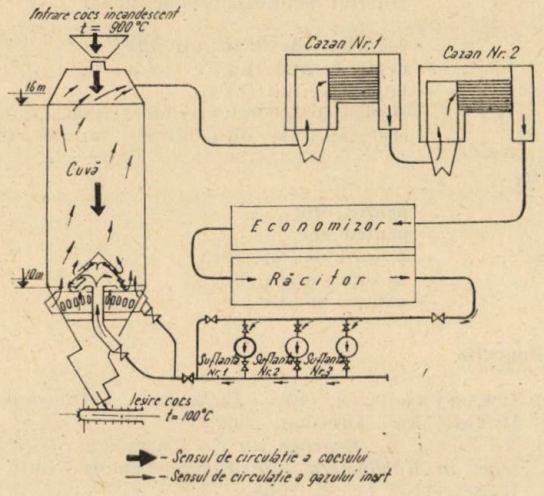


Fig. 1. Circuitul de gaz inert.

vederea obținerii de indicații tehnice și economice pentru instalații industriale de stingere uscată în perspectivă la marile cocserii din țară.

1. **Descrierea instalației.** Schema desfășurată a circuitului de gaz inert este reprezentată în figura 1. Instalația se compune din următoarele părți principale :

— cuva de stingere cu orificiile și dispozitivele de încărcare și descărcare ;

— schimbătoarele de căldură cu toate instalațiile anexe ;

— utilajele pentru vehicularea gazului inert ;

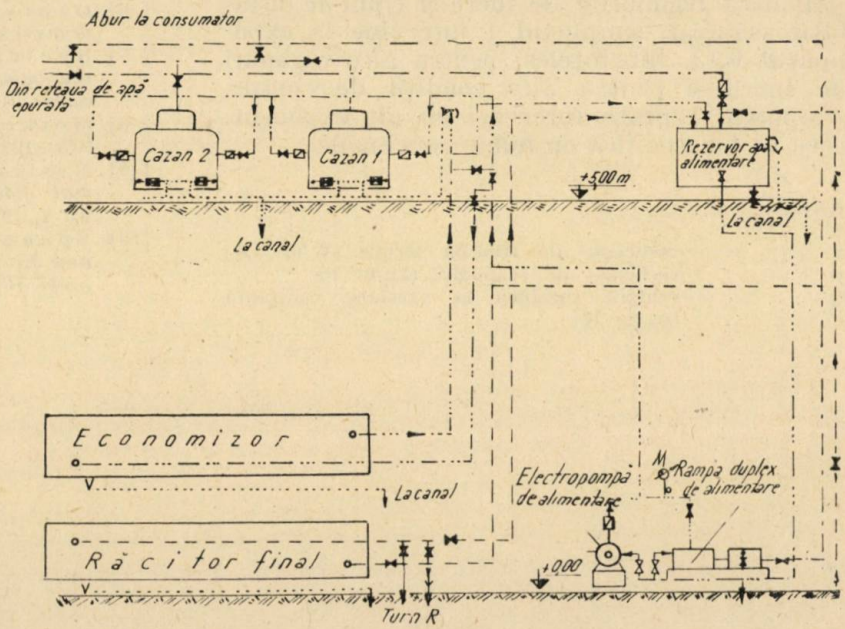
— A.M.C.

Agentul de răcire a cocsului, gazul inert, circulă ascendent în cuvă, existînd o conductă inelară de insuflare și una centrală. Printr-o conductă metalică, căptușită cu cărămidă refractară, gazul inert ajunge din partea superioară a cuvei la două cazane tip locomobilă (2 t/h, 12 ata), apoi la un economizor și, în final, la un răcitor. Gazul inert astfel răcit este aspirat de suflante tip SRD—4 și introdus din nou în cuvă.

Cuva propriu-zisă de stingere uscată a cocsului este formată dintr-un înveliș metalic căptușit cu cărămidă refractară. Buna funcționare a întregii instalații depinde în cea mai mare măsură de funcționarea rapidă și menținerea etanșeității la mecanismele de încărcare și descărcare a cuvei. Dispozitivul de încărcare constă dintr-un capac circular, care realizează etanșarea cu cuva printr-un jgheab umplut cu nisip în care pătrunde un guler al capacului. Capacul poate fi îndepărtat de pe orificiul de încărcare cu ajutorul unor servomecanisme, comandate de la distanță. Macaraua așază chibla cu cocsul incandescent pe orificiul de încărcare ; cocsul se va descărca din chiblă datorită greutății proprii, care va produce dezavarierea capacului inferior al chiblei. Dispozitivul de descărcare de la partea inferioară a cuvei este format din închizătoare cu sertar și clapetă și un buncăr intermediar. Acționarea se face cu servomotoare cu piston pneumatic. Cocsul stins este preluat de o bandă transportoare cu racleți.

După cum se remarcă din figura 2, există posibilitatea de a circula apa din economizor atît la cazane, cît și la rezervorul de alimentare. Apa din răcitor este circulată la canal. Acest lucru a fost necesar pentru a asigura în toate condițiile de funcționare o temperatură de intrare a gazului inert în suflante de 70—80°C.

Fig. 2. Schema termică desfășurată :
— · — · — conducte abur ; — · · — · · — conducte apă alimentare ; — · · — · · — conducte apă epurată ;
— — — conducte apă brută ; · · · · conducte la canalizare.



*) Ing. Willi Krisch și chim. Valer Stezar lucrează la Uzina „Victoria"-Călan.

2. **Funcționarea instalației.** Inițial, cuva instalației de stingere s-a încărcat cu 100 t cocs rece. După începerea vehiculării aerului din circuitul de gaz inert, s-a introdus în cuvă cocsul incandescent, în ritm de 21 chible pe zi. În decursul anului 1966, instalația a funcționat cu 18 chible pe zi, ceea ce corespunde cu circa 30 000 t cocs stins anual. Încărcătura unei chible corespunde cu 3,8 t cocs și patul camerei de cocsificare de 0,7 t cocs de 0—10 mm. În momentul încărcării cuvei cu cocs incandescent, pentru a diminua pătrunderea aerului atmosferic în circuitul de gaz inert, se deschide clapeta de by-passare a suflantei.

După cum se remarcă din tabela 1, partea superioară a cuvei a dictat astfel repartiția presiunilor, încît cea mai mare parte a instalației se găsește sub depresiune; datorită procedeului de etanșare a capacului cuvei, la partea superioară presiunea nu poate fi prea mare. La pornire, volumul mic al gazului inert (temperatura 140°C) duce chiar la o ușoară depresiune la partea superioară a cuvei. O dată cu creșterea temperaturii, rezistența hidraulică crește la 135—195 mm col. H_2O. S-a realizat o rezistență medie de 156 mm col. H_2O, la un debit de 12 000 Nm^3/h gaz inert, față de 130 mm col. H_2O pentru un debit de 25 000 Nm^3/h, prevăzut în proiect. Această circulație necorespunzătoare a gazului inert se datorește existenței în cuvă a patului de mărunt de 0—10 mm, cît și a unor zone unde nu se face circulația corect.

Tabela 1

Locul de măsură	La pornire	În timpul funcționării	
	cocs rece în cuvă	înainte de încărcare	după încărcare
Temperatura gazului inert la ieșirea din cuvă	140°	280—300°C media realizată 302°C	480—320°C, media realizată 453°C
Presiune și depresiune, mm col. H_2O			
— partea superioară a cuvei	— 8	22	37,1
— înainte cazan 1	— 10	13	20,4
— înainte cazan 2	— 40	— 14,1	— 23,5
Aspirație			
— înainte economizor	— 84	— 70	— 61
— înainte răcitor	— 98	— 86	— 79
— înainte suflantă	— 145	— 117	— 107
— după suflantă	110	175	195
Refulare			
— intrare în cond. inel	100	156	176
— intrare în cond. centr.	40	141	149
Cădere totală presiune cuvă	110	195	156
Debit total gaz inert, Nm^3/h	12 000	12 000	12 000
Înălțime de încărcare a cocsului în cuvă	4,5 m	4,5 m	4,5 m

Regimul de temperaturi pe fluxul de răcire al gazului inert este redat în figura 3. Modul cum a variat în timp temperatura la partea superioară a cuvei este arătat în figura 4, în care se observă creșterea rapidă a temperaturii

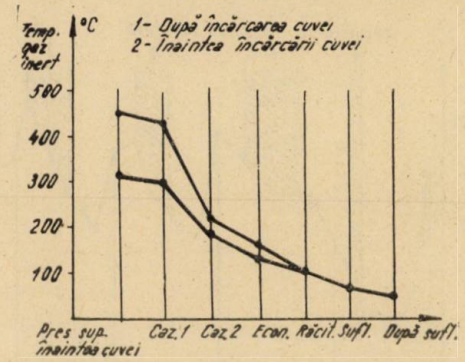


Fig. 3. Regimul de temperatură.

o dată cu introducerea cocsului și răcirea lentă ce are loc în continuare. Gazul inert a prezentat variații destul de largi în ceea ce privește conținutul de oxigen, de la valori între 6—8% la 0,6—1,1%. Media analizelor arată un con-

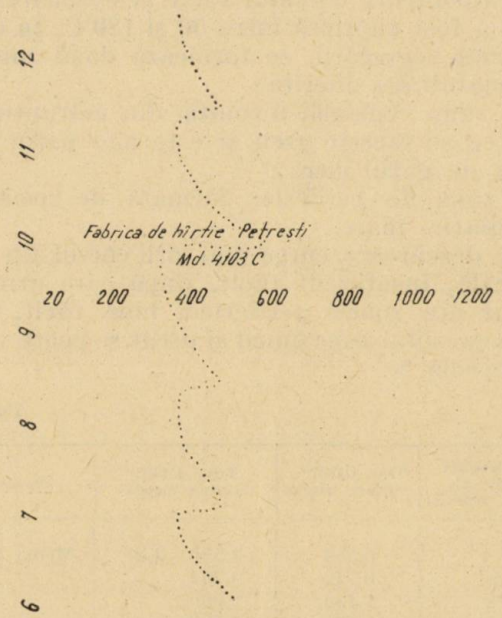


Fig. 4. Variația temperaturii gazului inert la partea superioară a cuvei.

ținut de 2,5% O_2. În aceste condiții s-a obținut cocs nears, cu un conținut de cenușă acceptabil. Variațiile conținutului de oxigen au loc în mod deosebit în timpul încărcării și descărcării cocsului, cînd se produc pierderi de gaz inert ce se completează concomitent prin aspirarea de aer din exterior.

Imediat după încărcarea cocsului în cuvă, conținutul de oxigen scade mult, datorită arderilor de cocs ce au loc. În figura 5 este reprezentată variația conținutului de oxigen în

gazul inert în timpul unei anumite perioade de funcționare cu încărcări și descărcări de cocs. Conținutul mediu de CO_2 a fost de 14,2%, iar de CO de circa 2%. Nu s-au observat explozii și nu au fost necesare măsuri suplimentare

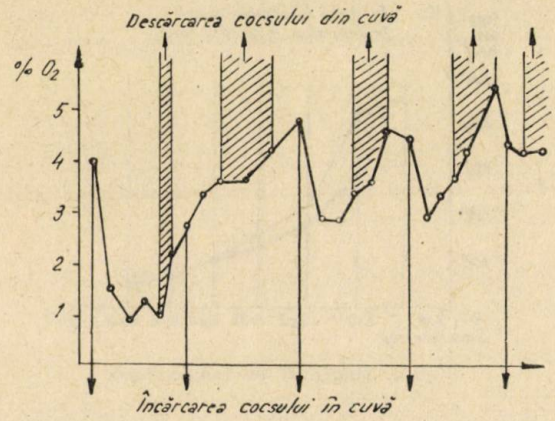


Fig. 5. Variația conținutului de O_2 în gazul inert.

pentru evitarea unor eventuale explozii nici chiar în perioadele de oprire forțată a instalației.

Temperatura cocsului răcit la evacuarea din cuvă a fost cuprinsă între 50 și 180°C. În cuvă, datorită segregării, se formează două zone cu permeabilități diferite :

— zona centrală, formată din măruntul de cocs ce se răcește greu și este mai puțin străbătut de gazul inert ;

— zona de periferie, formată de cocsul de granulație mare.

La descărcare, curge mai întîi cocsul din zona centrală, insuficient răcit, după care urmează cocsul din zonele periferice, bine răcit. Calitatea cocsului stins umed și uscat se poate vedea din tabela 2.

Tabela 2

Caracteristici tehnice ale cocsului brichete	Trim. I/1967 — stingere usactă	Trim. I/1967- stingere umedă	Observații
W^a, %	0,359	2,596±2,21	Media zilnică
A^{anh}, %	0,742	0,764	
V^{anh}, %	1,130	1,066	
St^{anh}, %	0,760	0,780	
dr, g/cm³	2,043	2,073	

Din datele de mai sus rezultă că însușirile cocsului stins umed și ale celui stins uscat sînt practic identice, cu excepția umidității, care la cocsul stins uscat este mult mai mică decît la cel stins umed.

3. Analiza eficienței economice. Instalația a produs abur cu presiunea de 2—4 ata, cu un debit variabil între 0,6—1 t/h. Cei mai importanți indicatori tehnico-economici realizați sînt redați în tabela 3.

Tabela 3

Perioada	Abur produs, t/h	Producere de cocs stins uscat, t	Cheltuieli realizate cu partea termomecanică, lei	Preț de cost abur, lei/t	Cheltuieli specifice pt. stingerea uscată, lei/t cocs	Necesități specifice de cocs stins pt. producerea aburului, t cocs/t abur
Anul 1966	5059	13 500	352 974	69,77	26,1	2,6
Trim I 1967	1568	4 895	92 782	59,17	19,0	3,11

La funcționarea instalației de stingere uscată apar numai cheltuielile de mai sus, aferente pentru partea termomecanică, deoarece în mod obișnuit personalul și utilajele pentru descărcarea cuptoarelor de cocsificare se ocupă și de stingerea umedă a cocsului. Economiile realizate prin neutilizarea apei necesare pentru stingerea umedă în cazul stingerii uscate sînt de circa 0,165 lei/t cocs.

Randamentul termic obținut cu partea termomecanică a instalației de stingere uscată a cocsului este de 60%, calculat cu relația

$$\eta\, th = \frac{i_{ab} - i_{aa}}{C_{200}^{1000}(t_{ci} - t_{cs}) \cdot c},$$

unde :

i_{ab}, i_{aa} reprezintă entalpia aburului și a apei ;

$C_{200}^{1000} = 0{,}384$ kcal/kg °C — căldura specifică a cocsului stins în cuvă ;

$t_{ci} = 1000$°C — temperatura cocsului în cuvă ;

$t_{cs} = 200$°C — temperatura cocsului stins,

$C = 2{,}7$ t cocs/t abur.

Randamentul termic al instalației mai poate fi îmbunătățit prin utilizarea căldurii cedate răcitorului final, realizarea unor parametri mai înalți ai aburului și micșorarea necesarului specific de cocs (c) pentru producerea unei tone de abur printr-o funcționare continuă și ritmică.

Eficiența economică se stabilește în cele ce urmează, conform cu [5], considerînd recuperarea unei resurse energetice secundare termice în direcția termotehnică. Nu se face analiza pentru direcția electroenergetică sau combinată, deoarece din punct de vedere tehnologic acest lucru nu este posibil pentru instalații de capacitate așa de redusă cum este cea experimentală. Analiza se face pentru două variante, conform datelor și rezultatelor din tabela 4.

Se observă că ΔZ este pozitiv pentru ambele variante, deci recuperarea este eficientă economic.

Tabela 4

Nr. crt.	Specificații. Relatări și date de calcul	U./M.	Varianta I: cocs stins = = 13,5 mii t/an; prod. abur = 5059 t/an; η_{th} = = 61 %	Varianta II: cocs stins = = 22 mii t/an; prod. abur = 8500 t/an; n th = 70 %	Varianta fără recuperare
1	Valoarea mijloacelor fixe I_m	mii lei	551,6	500	110
2	Puterea electrică absorbită din sistem, P_{mr}	kW	66	40	5
3	Investiții în sistem pentru asigurarea puterii electrice absorbite, $I_{Erec.}$ $I_{E\,rec.} = i_{CE}\ P_m \xi b$ $i_{CE} = 3300$ lei/kW $\xi b = 1{,}35$	mii lei	294	178	22
4	Energia electrică consumată $W = P_m \cdot 8760 \cdot 0{,}85$	MWh	492	298	37,2
5	Investiții pentru deschideri de mine pentru asigurarea energiei $I_{Brec} = i_{cărb.w.b.}$ $i_{cărb} = 990$ lei an/t c.c. $b = 0{,}320$ t c.c./MWh	mii lei	156	94,4	11,7
6	Investiții efective $I_{rec.} = I_m + I_E + I_B$	mii lei	1001,6	772	1033,7
7	Cheltuieli anuale efective pentru varianta fără recuperare: $C_{FR} = 10{,}5\,\%.I_m + 0{,}4 \cdot B_{cr}$	mii lei	352,9	300	371,5
8	Cheltuieli anuale de calcul $Z = C + \varepsilon_n \cdot I_{rec.}$ $\varepsilon_n = 0{,}1$/an, coeficient normat al eficienței economice a investițiilor pe ramura energetică	mii lei	453,1	377,2	475,91
9	Consumul de cărbune pentru producerea aburului în instalația de înlocuire $B_{CT} = \frac{8500 \cdot (650-20)}{0{,}85 \cdot 7 \cdot 10^3}$	t c.c./ /an	—	—	900
10	Investiții pentru deschideri de mine pentru asigurarea aburului $B_{CT} = i_{cărb.}$	—	—	—	890
11	$\Delta Z = Z_{FR} - Z_{CR}$	mii lei	22,81	98,71	—

Ponderea cheltuielilor realizate la instalația termomecanică a instalației experimentale (varianta I) se prezintă în tabela 5.

Tabela 5

Specificație	Uzina „Victoria" — Călan	Instalația pentru uscat cocs din U.R.S.S.
Energie electrică, %	44	17
Salarii, %	29	6
Amortisment, %	13	40
Reparații, %	10	16
Alte cheltuieli, %	4	21

Varianta II se referă la instalația existentă, la care se aplică unele mici îmbunătățiri în vederea diminuării cheltuielilor de exploatare (mai ales energie electrică) și de investiții (alte ventilatoare), ceea ce determină o îmbunătățire substanțială a randamentului termic al instalației.

Concluzii. Funcționarea instalației experimentale de stingere uscată a cocsului de la Uzina „Victoria"—Călan a permis stabilirea unor date tehnice și economice importante, necesare la executarea unor instalații asemănătoare. În acest sens se remarcă, îndeosebi, necesitatea unei instalații mai etanșe de încărcare și descărcare a cuvei și cu posibilități de a efectua aceste operații mai rapid. Trebuie pus un accent deosebit pe realizarea unei repartiții uniforme a cocsului în cuvă. Economizorul și răcitorul final trebuie dispuse vertical, pentru a evita depunerile de praf, iar la părțile inferioare trebuie să existe saci de praf care se pot descărca periodic.

Întrucît răcitorul final a lucrat la temperatură de rouă, se poate conta că după circa 8 luni este atît de corodat încît nu mai poate realiza o funcționare sigură și trebuie înlocuit total. Prin înlocuirea suflantelor SRD—4 (suflantă cu rotor de distribuție), complet necorespunzătoare pentru recircularea gazului inert (temperatura peste 20°C și conținut mare de praf), cu ventilatoare centrifugale se poate funcționa la o temperatură superioară celei de rouă. Cocsul va avea la ieșirea din cuvă o temperatură mai mare, care va trebui să fie sub 200°C. În acest fel se va realiza o funcționare mai îndelungată a economizorului și răcitorului final și se va obține o importantă economie de energie electrică.

Trebuie avută în vedere posibilitatea unei automatizări simple a instalației termomecanice, datorită lipsei arderii în focar, astfel ca să se obțină o supraveghere limitată [4], fără personal permanent [3].

Din analiza efectuată rezultă că stingerea uscată a cocsului nu duce la modificări importante ale calității cocsului, cu excepția umidității, ceea ce prezintă o importanță destul de

mare, de exemplu la fabricarea anozilor din cocs de petrol.

De asemenea, trebuie remarcată reducerea considerabilă a poluării atmosferei, ce se realizează prin funcționarea unor instalații de stingere uscată la cocserii de mare capacitate.

Bibliografie

[1] * * * I.C.M. *Studiul denocivizării atmosferei prin folosirea stingerii uscate a cocsului.* 1965.

[2] * * * I.C.M. *Studiul bilanțului termic și al eficienței tehnice și economice a instalației de stingere uscată.* 1967.

[3] Hoffmann, W. *Supravegherea cazanelor de abur* (Technische Überwachung, *8*, nr. 8, 1967,p. 231–234). Buletin de informare DGMSI nr. 12, 1967, p. 684–690.

[4] * * * *Considerații economice, tehnice și de siguranță privind proiectarea unei săli de cazane fără personal de exploatare* (Engineering and Boiler House Review, *81*, nr. 5, 1966, p. 144–149. Buletin de informare DGMSI nr. 11, 1967, p. 629–636.

[5] * * * M.E.E. – I.G.E. *Prescripții privind recuperarea resurselor energetice secundare și determinarea eficienței economice a acestei recuperări (E41–66).*

(Articol intrat în redacție la 26 iulie 1968)

—— o ——

Determinarea relațiilor generale pentru caracteristicile circulare și liniare ale releelor de impedanță și direcționale

Dr. ing. **S. Călin***)

Releele de impedanță și direcționale cu diverse caracteristici se realizează în prezent pe două căi principale : prin controlul amplitudinilor unor mărimi obținute prin combinații ale fazoarelor curent și tensiune și prin controlul defazajelor unor mărimi realizate cu ajutorul acelorași fazoare.

În unele lucrări sînt prezentate caracteristici obținute prin controlul amplitudinilor [2], [3], [4], [5], [6], în altele sînt prezentate caracteristici obținute prin controlul defazajelor [7], [8], [9], [10], numai pentru o parte din caracteristici fiind prezentată demonstrația relației aferente. Astfel, în cazul controlului amplitudinilor nu este demonstrată relația corespunzătoare caracteristicii circulare deplasate oricum, iar în cazul controlului defazajelor este demonstrată de regulă relația corespunzătoare caracteristicii circulare trecînd prin origine.

În lucrarea de față sînt demonstrate relațiile corespunzătoare tuturor tipurilor de caracteristici circulare și liniare, atît în cazul obținerii lor prin controlul amplitudinilor, cît și în cazul obținerii lor prin controlul defazajelor. Pentru caracteristicile circulare se determină relațiile generale corespunzătoare caracteristicii circulare deplasate oricum, prin particularizare fiind apoi determinate celelalte caracteristici circulare utilizate.

La fiecare tip de caracteristică este pusă în evidență trecerea de la relațiile aferente obținerii caracteristicii prin controlul amplitudinilor la relațiile corespunzătoare obținerii caracteristicii prin controlul defazajelor.

1. **Caracteristicile circulare și liniare.** Reprezentînd caracteristicile în planul complex, relațiile aferente controlului amplitudinilor devin relații între module, iar relațiile corespunzătoare controlului defazajelor conduc la anumite condiții pentru argumente. În cele ce urmează se utilizează pentru diferitele tipuri de caracteristici terminologia introdusă în [2].

Cele mai simple caracteristici pot fi considerate cele care se obțin prin controlul direct al

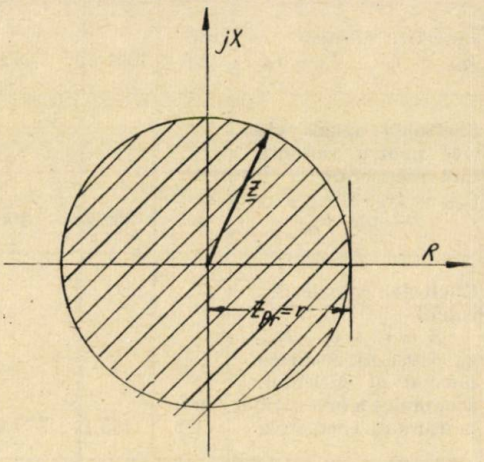


Fig. 1

tensiunii și curentului, fără să mai fie necesar controlul unor mărimi obținute prin combinații ale fazoarelor curent și tensiune. Din categoria acestor caracteristici fac parte caracteristica circulară cu centrul în origine (caracteristica releului de impedanță — fig. 1) și caracteristica liniară trecînd prin origine (caracteristica aproximativă a releelor direcționale — fig. 2), ambele caracteristici fiind reprezentate în planul impedanțelor și porțiunea hașurată indicînd zona de acționare.

*) Dr. ing. Sergiu Călin este profesor la Institutul politehnic București.

În primul caz, condiția de acționare a releului este

$$|\underline{Z}| \leqslant Z_{pr} = r, \qquad (1)$$

unde

$\underline{Z}$ este impedanța măsurată de releu, respectiv raportul dintre tensiunea $\underline{U}$ și curentul $\underline{I}$ din punctul de instalare a protecției;

Z_{pr} — impedanța de pornire a releului, egală cu raza r a cercului.

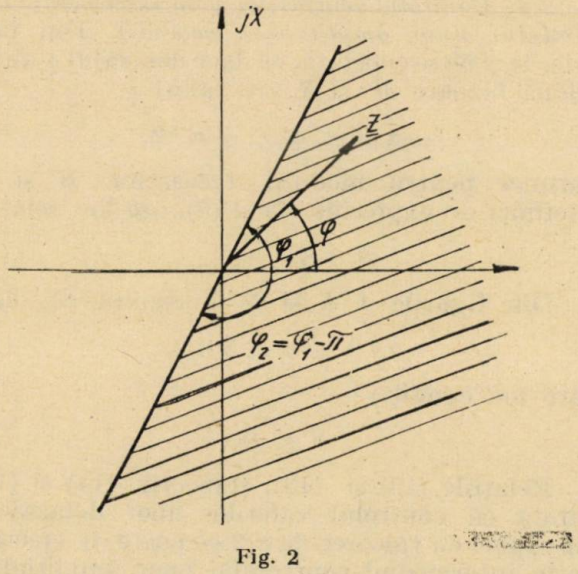


Fig. 2

Înmulțind cu $\underline{I}$ (curentul măsurat de releu), relația (1) poate fi adusă la forma

$$|\underline{Z}\,\underline{I}\,| = |\,\underline{U}\,| \leqslant |\,r\,\underline{I}\,|, \qquad (2)$$

sau

$$\left|\frac{\underline{U}}{r}\right| \leqslant |\,\underline{I}\,|. \qquad (3)$$

Prin urmare, caracteristica se obține prin controlul direct al amplitudinilor tensiunii și curentului (condiție de modul).

În al doilea caz, condiția de acționare se exprimă prin inegalitățile

$$\varphi_1 - \pi = \varphi_2 \leqslant \arg\ \underline{Z} = \arg\frac{\underline{U}}{\underline{I}} \leqslant \varphi_1 \qquad (4)$$

unde

$\arg\ \underline{Z} = \varphi$ este argumentul impedanței $\underline{Z}$ măsurate de releu,

sau

$$\varphi_2 \leqslant \arg\ \underline{U} - \arg\ \underline{I} < \varphi_1. \qquad (5)$$

Deci caracteristica de funcționare se obține direct prin controlul defazajului dintre tensiune și curent (condiție de argument).

Cu excepția celor două caracteristici analizate, pentru toate celelalte caracteristici circulare și liniare (din planul impedanțelor) condiția de acționare se referă simultan și la modulul și la argumentul impedanței măsurate $\underline{Z}$.

Acest lucru rezultă imediat din considerarea caracteristicilor din figura 3 (releu de impedanță generalizată — fig. 3 *a*; releu de admitanță mixtă — fig. 3 *b*; releu de rezistență generalizată — fig. 3 *c*; releu de impedanță mixtă — fig. 3 *d*; releu de reactanță — fig. 3 *e*): pentru diferite valori ale argumentelor rezultă diferite valori ale modulului, atunci cînd de la punctul situat pe caracteristică, definit, de exemplu, de

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1,$$

se trece la un alt punct de pe caracteristică, definit de

$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_2.$$

Condițiile impuse simultan pentru modulul și argumentul impedanței măsurate $\underline{Z}$ pot fi însă exprimate fie exclusiv prin condiții de modul — referitoare însă la anumite combina-

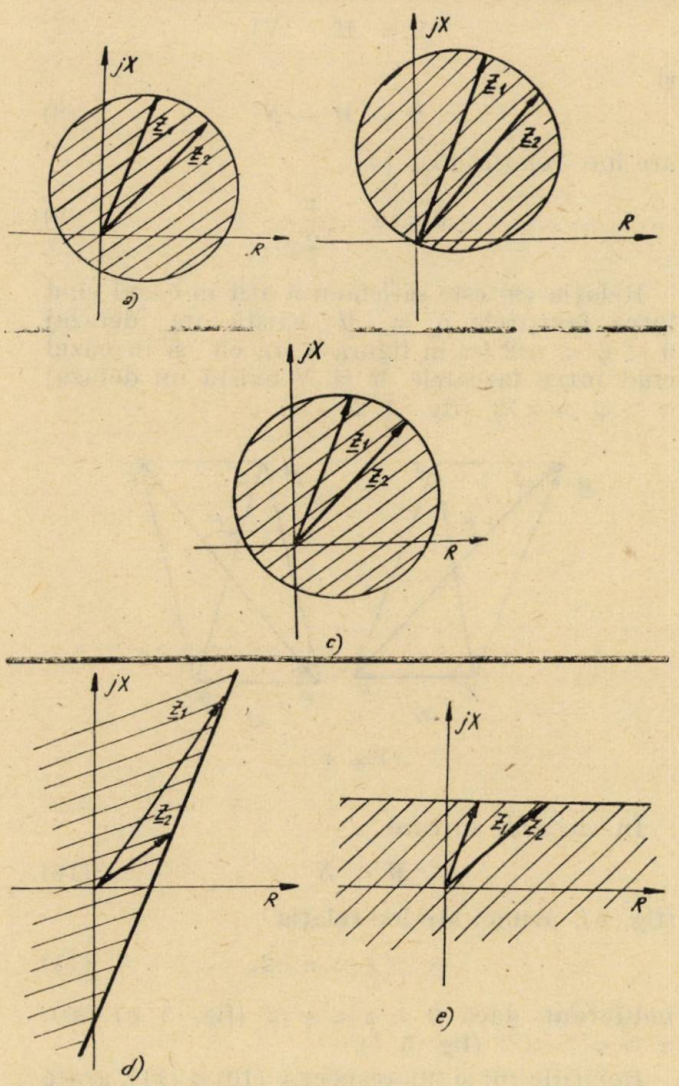


Fig. 3

ții de impedanțe—, fie exclusiv prin condiții de argumente referitoare la combinații de impedanțe.

Datorită acestui fapt, caracteristicile din figura 3 pot fi obținute fie numai prin controlul amplitudinilor unor mărimi obținute cu ajutorul fazoarelor curent și tensiune, fie numai prin controlul defazajelor unor mărimi obținute pe o cale analogă.

2. Trecerea de la controlul amplitudinilor (modulilor) la controlul defazajelor (argumentelor) și reciproc

2.1. *Controlul aplitudinilor (modulilor) prin intermediul controlului unor defazaje.* După cum se constată din figura 4, dacă pentru modulii a două fazoare $\underline{M}$ și $\underline{N}$ (sau ale unor mărimi complexe $\underline{M}=R_m+jX_m$ și $\underline{N}=R_n+jX_n$) există relația

$$M > N \tag{6}$$

atunci pentru defazajul α dintre fazoarele

$$\underline{S} = \underline{M} + \underline{N} \tag{7}$$

și

$$\underline{D} = \underline{M} - \underline{N} \tag{8}$$

are loc relația [3], [4]:

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{2}. \tag{9}$$

Relația (9) este satisfăcută atît în cazul cînd între fazoarele $\underline{N}$ și $\underline{M}$ există un defazaj $0 < \varphi < \pi/2$ (ca în figura 4 *a*), cît și în cazul cînd între fazoarele $\underline{M}$ și $\underline{N}$ există un defazaj $\pi > \varphi > \pi/2$ (fig. 4 *b*).

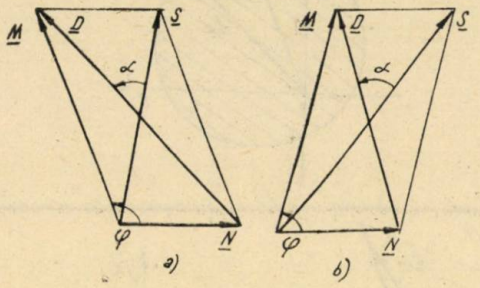


Fig. 4

În cazurile în care

$$M < N \tag{10}$$

(fig. 5), atunci are loc relația

$$\pi > \alpha > \pi/2, \tag{11}$$

indiferent dacă $0 < \varphi < \varphi/2$ (fig. 5 *a*) sau $\pi > \varphi > \pi 2$ (fig. 5 *b*).

Relațiile (6) și (9), respectiv (10) și (11), arată că controlul modulilor (amplitudinilor) poate fi efectuat prin intermediul controlului valorilor unor defazaje în raport cu valoarea de $\pi/2$.

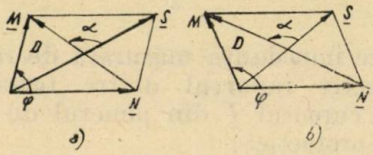


Fig. 5

2.2. *Controlul defazajelor prin intermediul controlului unor amplitudini (moduli).* Din figurile 4*a* și 5*a* se constată, că dacă defazajul φ dintre două fazoare $\underline{M}$ și $\underline{N}$ are valori

$$-\pi/2 < \varphi < +\pi/2, \tag{12}$$

atunci pentru modulii fazoarelor S și D, definiți de expresiile (7) și (8), are loc relația:

$$S > D. \tag{13}$$

Din figurile 4 *b* și 5 *b* rezultă că, dacă

$$\pi/2 < \varphi < 3\pi/2, \tag{14}$$

are loc condiția:

$$S < D. \tag{15}$$

Relațiile (12) și (13), respectiv (14) și (15), arată că controlul valorilor unor defazaje — în raport cu valoarea de $\pi/2$ — poate fi efectuat prin intermediul controlului unor amplitudini.

3. Determinarea relațiilor pentru caracteristica circulară oarecare (relee de impedanță generalizată)

La limita de acționare, cînd vectorul complex $\underline{Z}$ al impedanței măsurate de releu se găsește cu vîrful pe caracteristică (fig. 6), are loc egalitatea:

$$|\underline{Z} - \underline{Z}_0| = r, \tag{16}$$

unde

$\underline{Z}_0$ este vectorul complex care definește centrul cercului;

r — raza cercului.

Înmulțind ambii termeni cu $\underline{I}$ (curentul măsurat de releu), se obține

$$|\underline{U} - \underline{Z}_0 \underline{I}| = |r \underline{I}|. \tag{17}$$

Relația (16), definind limita de acționare a releului și deci reprezentînd ecuația caracteristicii de acționare, poate fi pusă și sub altă formă. Astfel, cu notațiile din figura 6 și ridicînd la pătrat relația (16) se va obține:

$$|\underline{Z} - \underline{Z}_0|^2 = r^2,$$

respectiv

$$Z^2 + Z_0^2 - 2ZZ_0 \cos \psi = r^2, \tag{18}$$

sau după înlocuiri simple (ţinînd seama şi că $\psi = \varphi - \theta$), rezultă :

$$(R - R_0)^2 + (X - X_0)^2 = r^2. \qquad (19)$$

Deci se obţine ecuaţia cercului în coordonate R, X.

Relaţiile (16) şi (17) definesc realizarea caracteristicii circulare oarecare prin intermediul controlului unor amplitudini ; pentru realizarea aceleiaşi caracteristici prin intermediul controlului unor defazaje se formează sumele şi diferenţele fazoriale definite de relaţiile (7) şi (8) — pornind de la $\underline{M} = \underline{Z} - \underline{Z}_0$ şi $\underline{N} = r$, sau $\underline{M}' = \underline{U} - \underline{Z}_0 \underline{I}$ şi $\underline{N}' = r\underline{I}$, conform cu (16) şi (17) — obţinîndu-se mărimile

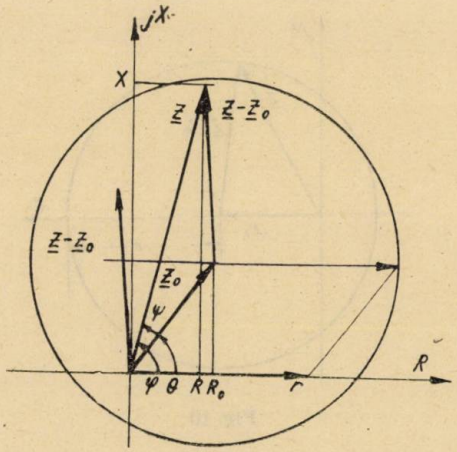


Fig. 6

$\underline{Z}_s$ şi $\underline{Z}_d$, respectiv $\underline{U}_s$ şi $\underline{U}_d$, corespunzătoare mărimilor $\underline{S}$ şi $\underline{D}$ din (7) şi (8) :

$$\underline{Z}_s = \underline{Z} - \underline{Z}_0 + r \qquad (20)$$

$$\underline{Z}_d = \underline{Z} - \underline{Z}_0 - r \qquad (21)$$

$$\underline{U}_s = \underline{U} - \underline{Z}_0 \underline{I} + r\underline{I} \qquad (22)$$

$$\underline{U}_d = \underline{U} - \underline{Z}_0 \underline{I} - r\underline{I} \qquad (23)$$

Întrucît releele de impedanţă sînt relee minimale [4], cu zona de acţionare aflată în interiorul caracteristicii circulare (zona haşurată din figura 3 *c*), în cazul acţionării releului, vectorul complex $\underline{Z}$ va avea vîrful în interiorul cercului (fig. 7) şi condiţia de acţionare are aspectul :

$$|\underline{Z} - \underline{Z}_0| < r. \qquad (24)$$

Deci în locul relaţiei (17) se va obţine — în cazul acţionării — relaţia :

$$|\underline{U} - \underline{Z}_0 \underline{I}| < |r\underline{I}|, \qquad (25)$$

analogă cu relaţia (10).

Ca urmare, în cazul acţionării (fig. 7), va rezulta pentru unghiul α, dintre vectorii complecşi $\underline{Z}_s$ şi $\underline{Z}_d$ din (20) şi (21) — identic cu defazajul dintre fazorii $\underline{U}_s$ şi $\underline{U}_d$ din (21) şi (22) — condiţia conformă cu (11).

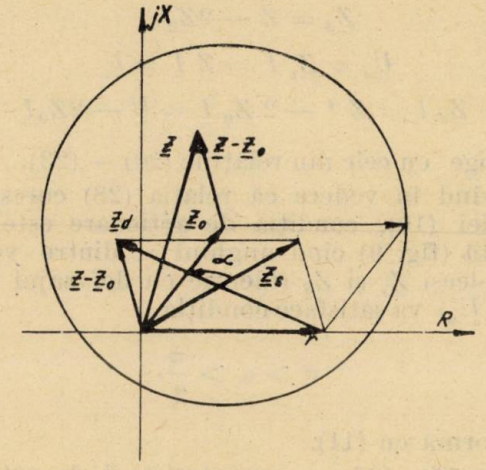


Fig. 7

4. Determinarea relaţiilor pentru caracteristica circulară trecînd prin origine (releu de admitanţă mixtă)

La limita de acţionare (fig. 8) are loc egalitatea

$$|\underline{Z} - \underline{Z}_0| = |\underline{Z}_0|, \qquad (26)$$

respectiv

$$|\underline{U} - \underline{Z}_0 \underline{I}| = |\underline{Z}_0 \underline{I}|. \qquad (27)$$

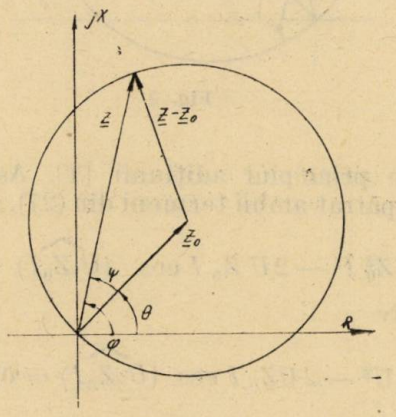


Fig. 8

În cazul acţionării, cînd vectorul complex $\underline{Z}$ are vîrful în interiorul cercului (fig. 9), rezultă

$$|\underline{Z} - \underline{Z}_0| < |\underline{Z}_0|, \qquad (28)$$

deci

$$|\underline{U} - \underline{Z}_0 \underline{I}| < |\underline{Z}_0 \underline{I}|. \qquad (29)$$

Relaţiile (26) şi (27) definesc realizarea caracteristicii prin intermediul comparării unor am-

plitudini; pentru realizarea caracteristicii prin controlul unor defazaje se consideră mărimile

$$\underline{Z}_s = \underline{Z} \tag{30}$$

$$\underline{Z}_d = \underline{Z} - 2\underline{Z}_0 \tag{31}$$

$$\underline{U}_s = \underline{Z}_s \underline{I} = \underline{Z}\,\underline{I} = \underline{U} \tag{32}$$

$$\underline{U}_d = \underline{Z}_d \underline{I} = \underline{Z}\,\underline{I} - 2\,\underline{Z}_0\,\underline{I} = \underline{U} - 2\underline{Z}_0\underline{I} \tag{33}$$

analoge cu cele din relaţiile (20) — (23).

Avînd în vedere că relaţia (28) corespunde relaţiei (10), condiţia de acţionare este îndeplinită (fig. 9) cînd unghiul α, dintre vectorii complecşi $\underline{Z}_s$ şi $\underline{Z}_d$ (identic cu defazajul dintre $\underline{U}_s$ şi $\underline{U}_d$) va satisface condiţia

$$\pi > \alpha > \frac{\pi}{2},$$

conformă cu (11).

Ecuaţia (27) a caracteristicii de acţionare poate fi adusă la forma folosită pentru caracterizarea funcţionării releului tranzistorizat realizat pe principiul adiţiunii [1]. Astfel, ridicînd la pătrat ambii termeni din (27), se obţine:

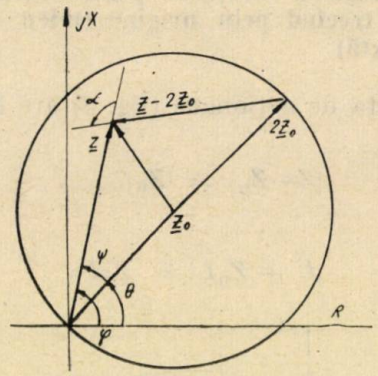


Fig. 9

$$U^2 + Z_0^2 I^2 - 2U Z_0 I \cos\ (\widehat{\underline{U},\underline{Z}_0\underline{I}}) = Z_0^2 I^2,$$

respectiv

$$U^2 - 2UZ_0 I \cos\ (\widehat{\underline{U},\underline{Z}_0\underline{I}}) = 0,$$

sau

$$U - 2Z_0 I \cos\ (\widehat{\underline{U},\underline{Z}_0\underline{I}}) = 0. \tag{34}$$

Defazajul dintre fazoarele $\underline{U}$ şi $\underline{ZI}$ şi $\underline{Z}_0\underline{I}$ este egal cu unghiul ψ dintre vectorii complecşi $\underline{Z}$ şi $\underline{Z}_0$ (fig. 8 şi 9), şi înlocuind în (34), se obţine:

$$U - 2Z_0 I \cos\ (\theta - \varphi) = 0, \tag{35}$$

respectiv

$$U - 2Z_0 I \cos\theta \cos\varphi - 2Z_0 I \sin\theta \sin\varphi = 0. \tag{36}$$

Această formă este analogă cu relaţia:

$$K_u' U - K_p' U_i' \cos\varphi - K_Q' U_i' \sin\varphi = 0, \tag{37}$$

care exprimă ecuaţia caracteristicii circulare trecînd prin origine pentru releul tranzistorizat realizat pe principiul adiţiunii [1].

5. Determinarea relaţiilor pentru caracteristica circulară cu centrul pe axa reală (releu de rezistenţă generalizată)

Notînd cu R_0 abscisa centrului şi cu r raza cercului (fig. 10) la limita de acţionare are loc egalitatea

$$|\underline{Z} - R_0| = r, \tag{38}$$

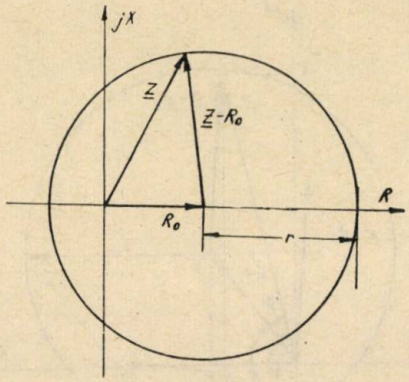


Fig. 10

respectiv

$$|\underline{U} - R_0\,\underline{I}\,| = |\,r\,\underline{I}\,|. \tag{39}$$

În cazul acţionării, cînd vîrful vectorului complex $\underline{Z}$ se găseşte în interiorul caracteristicii (fig. 11), rezultă

$$|\underline{Z} - R_0\,| < r \tag{40}$$

şi

$$|\underline{U} - R_0\underline{I}\,| < |\,r\underline{I}\,|. \tag{41}$$

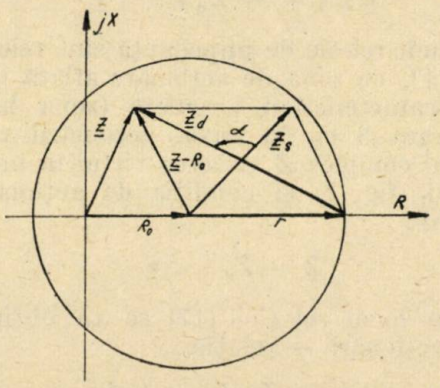


Fig. 11

Relaţiile (38) şi (39) definesc realizarea caracteristicii prin intermediul comparării unor am-

plitudini; în scopul realizării caracteristicii prin controlul unor defazaje se consideră mărimile

$$\underline{Z}_s = Z - Z_0 + r \tag{42}$$

$$\underline{Z}_d = Z - Z_0 - r \tag{43}$$

$$\underline{U}_s = \underline{U} - R_0 \underline{I} + r\underline{I} \tag{44}$$

$$\underline{U}_d = \underline{U} - R_0 \underline{I} - r\underline{I} \tag{45}$$

analoge cu (20) — (23) și (30) — (33).

Relația (40) corespunzînd relației (10), condiția de acționare este îndeplinită (fig. 11) pentru

$$\pi > \alpha > \frac{\pi}{2}$$

conform cu (11), α fiind unghiul dintre $\underline{Z}_s$ și $\underline{Z}_d$, respectiv defazajul $\underline{U}_s$ și $\underline{U}_d$.

6. Determinarea relațiilor pentru caracteristicile liniare

Considerînd că definirea unor caracteristici liniare oarecare se face prin vectorul complex perpendicular pe caracteristică [5], trasat din originea planului complex (fig. 12) și notînd acest vector complex prin

$$R_0 \, e^{-j\beta},$$

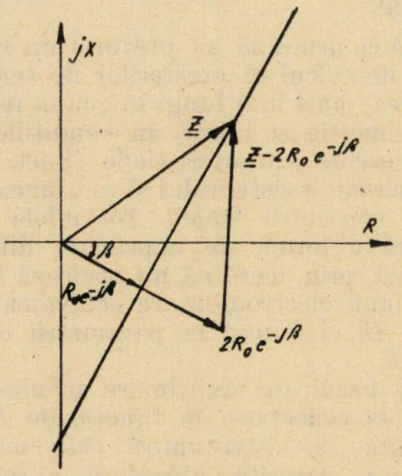


Fig. 12

rezultă că în cazul limitei de acționare, cînd vîrful vectorului complex $\underline{Z}$ se găsește pe caracteristică, va avea loc egalitatea:

$$|\underline{Z}| = \underline{Z} - 2\,R_0\,e^{-j\beta}|, \tag{46}$$

respectiv

$$|\underline{U}| = |\underline{U} - 2R_0\underline{I}\,e^{-j\beta}|. \tag{47}$$

În cazul acționării, cînd vectorul complex $\underline{Z}$ are vîrful în regiunea (delimitată de caracteristica liniară) care conține originea (fig. 13), rezultă:

$$|\underline{Z}| < \underline{Z} - 2R_0\,e^{-j\beta}|; \tag{48}$$

deci

$$|\underline{U}| < |\underline{U} - 2R_0\,\underline{I}\,e^{-j\beta}|. \tag{49}$$

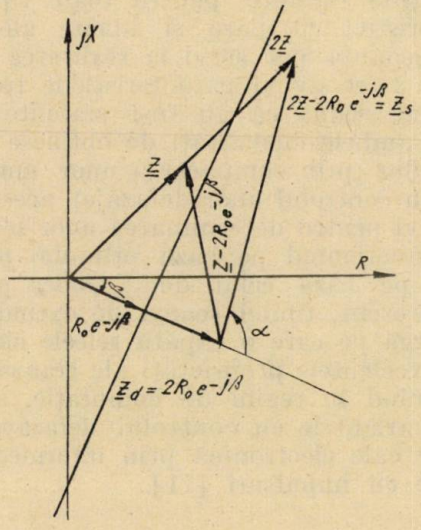


Fig. 13

Relațiile (46) și (47) definesc realizarea caracteristicii liniare prin comparare de amplitudini; în scopul realizării acestei caracteristici prin controlul unor defazaje se consideră, ca și în cazurile anterioare, mărimile:

$$\underline{Z}_s = 2\underline{Z} - 2R_0\,e^{-j\beta} \tag{50}$$

$$\underline{Z}_d = 2R_0\,e^{-j\beta} \tag{51}$$

$$\underline{U}_s = 2\underline{U} - 2R_0\,\underline{I}\,e^{-j\beta} \tag{52}$$

$$\underline{U}_d = 2R_0\,\underline{I}\,e^{-j\beta} \tag{53}$$

Întrucît relația (48) corespunde relației (10), condiția de acționare este satisfăcută cînd unghiul α, dintre $\underline{Z}_s$ și $\underline{Z}_d$ (fig. 13), reprezentînd totodată defazajul dintre $\underline{U}_s$ și $\underline{U}_d$, are valori care îndeplinesc condiția:

$$\pi > \alpha > \pi/2,$$

conformă cu (11).

Relațiile obținute pot fi folosite pentru orice caracteristici liniare care nu trec prin origine, cum sînt cele din figura 3 *d* (relee de impedanță mixtă) și din figura 3 *e* (releu de reactanță). Pentru caracteristici liniare trecînd prin origine, condiția de acționare este exprimată de relația (4), referitoare numai la controlul defazajului dintre fazorii $\underline{U}$ și $\underline{I}$, fără a fi necesare însumări sau diferențe fazoriale. În [4] se arată că în

locul ecuației (4) poate fi stabilită o ecuație referitoare la compararea unor amplitudini, considerînd un vector complex de modul arbitrar, perpendicular pe caracteristică.

Concluzii

Relațiile stabilite pentru toate tipurile de caracteristici circulare și liniare ale releelor de impedanță pot servi la realizarea practică a unor relee avînd caracteristicile respective.

Ținînd seamă că au fost stabilite relațiile pentru ambele modalități de obținere a caracteristicilor (prin compararea unor amplitudini sau prin controlul unor defazaje), aceste relații pot servi pentru determinarea unor scheme de relee funcționînd pe baza primului principiu, cît și pe baza celui de-al doilea principiu.

În prezent, ținînd seamă de extinderea tot mai largă pe care o capătă releele electronice i de excelentele proprietăți ale tranzistoarelor uncționînd în regim de comutație, sînt preferate variantele cu controlul defazajelor realizat pe cale electronică prin intermediul unor scheme cu impulsuri [11].

Bibliografie

[1] Penescu, C. *Un relais de distance à transistors avec caracteristique universelle.* CIGRE 1964 Raport 317.

[2] Mihăileanu, C. *O metodă de prezentare unitară a releelor de protecție de distanță și direcționale.* Energetica nr. 1, 1961.

[3] Warrington, A. R. v. C. *Protective Relays,* vol. I. London, Chapman and Hall, 1962.

[4] Călin, S. și Marcu, S. *Protecția prin relee a sistemelor electrice.* Editura Tehnică, București, 1965.

[5] Călin, S. *Releu de impedanță mixtă pentru protecții de distanță cu caracteristică poligonală.* Energetica nr.9, 1966.

[6] * * * *Releu direcțional static I.R.M.E.* Documentație de însoțire.

[7] Adamson, C. și Wedepohl, L. M. *Power system protection with particular reference to the application of junction transistors to distance relays.* Proc. IEE, *103* A, 1956.

[8] Adamson, C. și Wedepohl, L. M. *A dual — comparator mho-type distance relay utilising transitors.* Proc. IEE, *103* A, 1956.

[9] * * * *Static distance (Mho) protection relay.* Prospect YTG 31, English Electric.

[10] Humpage, W. D. și Sabberwal, S. P. *Developments in phase comparison techniques for distance protection.* Proc. IEE, *112*, nr. 7, 1965.

[11] Penescu, C. și Călin, S. *Protecții prin relee electronice* (Sub tipar la Editura Tehnică, București).

(Articol intrat în redacție la 4 noiembrie 1968)

—— o ——

Formule utile pentru calculul tensiunii pe linii de foarte înaltă tensiune

Dr. ing. **A. Cristovici** și ing. **Ana Bensimon***)

Proiectarea și exploatarea liniilor de 220 kV și 400 kV necesită calculul tensiunii pe linii, pentru alegerea schemelor de compensare, stabilirea regimului de funcționare, alegerea corespunzătoare a nivelului de izolație și a schemelor de protecție contra supratensiunilor, precum și pentru stabilirea modului de executare a manevrelor de conectare sau deconectare a liniilor.

În cele ce urmează se propun formule utile pentru calculele uzuale la linii lungi, prin care se determină creșterile de tensiune la conectarea liniilor în gol, cu diferite grade de compensare. Se tratează atît liniile în gol conectate direct la barele stației, cît și cazul liniei conectate bloc cu un transformator. De asemenea, se indică formulele practice pentru calculul impedanței de intrare a liniilor în gol sau în diferite regimuri de sarcină, calculul necesar pentru determinarea supratensiunilor în regim tranzitoriu, deformant sau nesimetric.

*) A. Cristovici este inginer la ISPE; A. Bensimon este inginer la IRME.

1. Creșterile de tensiune la conectarea unei linii lungi

În cele ce urmează se prezintă un sistem de formule de calcul al creșterilor de tensiune la conectarea unei linii lungi în gol, în regim staționar, simetric și liniar, în condițiile în care sînt cunoscute caracteristicile liniei, puterea de scurtcircuit a sistemului și tensiunea pe bare înaintea conectării liniei. Formulele propuse reprezintă o formă de exprimare diferită de cea uzuală, prin aceea că nu apelează la valoarea tensiunii electromotoare echivalente a sistemului, E, ci numai la parametrii cunoscuți ai rețelei.

Modul uzual de exprimare a creșterii de tensiune la conectare, în funcție de E (t.e.m. echivalentă a sistemului)*) este mai dificil în aplicare, datorită aprecierii aproximative a acesteia, E fiind o funcție de regimul de sarcini dinaintea conectării, de distanța generatoarelor față de locul conectării, de tipul și eficiența reglajului de tensiune ș.a. [1], [2], [3].

De aceea s-a preferat exprimarea tensiunilor de pe bare și de pe linie după conectare, raportate la tensiunea de pe bare înainte de conectare.

*) $U_2 = \dfrac{E \cos \varphi}{\cos (\beta_l + \varphi)}$, unde $\varphi = \text{arc tg} \dfrac{X_{sc}}{Z_c}$ sau $\varphi = \text{arc tg} \dfrac{S_{nat}}{S_{sc}}$

La conectarea unei linii lungi în gol, la barele unei stații are loc o creștere a tensiunilor pe linie, datorită efectului capacitiv al liniei (efectul Feranti). Creșterea tensiunii este funcție de constantele liniei (impedanța caracteristică Z_c, constanta de fază β și lungimea liniei l), precum și de puterea sistemului electric care alimentează barele stației. Această putere se exprimă prin puterea de scurtcircuit pe barele stației la care este conectată linia în gol. Tensiunea la capătul liber al liniei este cu atît mai ridicată, cu cît puterea sistemului de alimentare este mai mică în raport cu puterea naturală a liniei, adică cu cît reactanța de scurtcircuit redusă la barele stației este mai mare.

La barele stațiilor alimentate de un sistem energetic slab, conectarea unei linii lungi în gol poate produce o creștere de tensiune importantă, iar tensiunea la capătul liber al liniei poate crește în acest caz pînă la valori periculoase pentru izolația liniei.

După cum se știe, calculul tensiunii în domeniul liniilor cu lungimi sub 500 km se face fără considerarea pierderilor Corona și a efectelor neliniare feromagnetice [4].

Din ecuațiile liniei lungi, fără pierderi:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cos \beta l + j Z_c \underline{I}_2 \sin \beta l, \qquad (1)$$

$$\underline{I}_1 = j \frac{\underline{U}_2}{Z_c} \sin \beta l + \underline{I}_2 \cos \beta l, \qquad (2)$$

unde

$\underline{U}_1$ și $\underline{I}_1$ sînt curenții la intrarea în linie;
$\underline{U}_2$ și $\underline{I}_2$ — curenții la sfîrșitul liniei;
Z_c — impedanța caracteristică a liniei;
βl — constanta de fază a undei,

se deduc pentru liniile în gol, necompensate sau compensate prin bobine de reactanță, o serie de expresii care permit calculul tensiunii în diferite puncte. În schema din figura 1

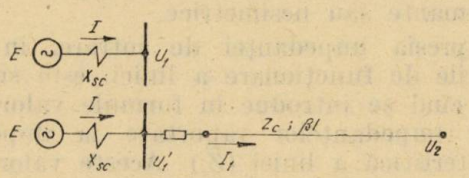


Fig. 1

se notează prin U_1 tensiunea pe bară înainte de conectarea liniei în gol și prin U_1' — tensiunea barei după conectare. U_2 este tensiunea la capătul liber al liniei, iar E — tensiunea electromotoare echivalentă a generatoarelor din sistem.

$$\underline{U}_1 = \underline{E} - j X_{sc} \underline{I}, \qquad (3)$$

iar

$$\underline{U}_1' = \underline{E} - j X_{sc} (\underline{I} + \underline{I}_1) = \underline{U}_1 - j X_{sc} \underline{I}_1 \qquad (4)$$

Cum $\underline{I}_2 = 0$, din (1) rezultă:

$$U_1' = U_2 \cos \beta l$$

și din (2):

$$I_1 = j \frac{U_1'}{Z_c} \operatorname{tg} \beta l,$$

de unde tensiunea nouă a barei, U_1', față de tensiunea înainte de conectare, U_1, este:

$$U_1' = U_1 \left[\frac{1}{1 - \frac{X_{sc}}{Z_c} \operatorname{tg} \beta l} \right] \text{sau} \qquad (5)$$

$$U_1' = U_1 \left[\frac{1}{1 - \frac{S_{nat}}{S_{sc}} \operatorname{tg} \beta l} \right], \qquad (6)$$

iar

$$U_2 = U_1' \left(\frac{1}{\cos \beta l} \right), \qquad (7)$$

unde S_{nat} este puterea naturală a liniei și S_{sc} puterea de scurtcircuit a sistemului.

În același mod se deduc relațiile pentru toate situațiile de compensare a liniei.

În tabela 1 sînt indicate formulele de calcul al creșterii tensiunii pe linie la conectarea în gol, pentru cazurile arătate în coloana 2, și anume:

1 — linie în gol;

2 — linie în gol, compensată la începutul liniei prin bobine de reactanță X_{b1}, legate direct la tensiunea liniei;

3 — linie în gol, compensată prin bobine de reactanță X_{b2}, legate direct la sfîrșitul liniei;

4 — linie în gol, compensată prin bobine X_{b1} și X_{b2}, legate la tensiunea liniei, la ambele capete.

5 — linie în gol, compensată prin bobine legate direct la capete (X_{b1} și X_{b3}) și într-un punct intermediar (X_{b2});

6 — linie în gol, conectată la bare în bloc cu un transformator (X_{tr}).

7 — linie în gol, conectată bloc cu un transformator avînd bobine de reactanță pe înfășurarea terțiară (X_{b1});

8 — linie în gol, conectată bloc cu un transformator și compensată cu bobine legate direct la capătul liber (X_{b2});

9 — linie în gol, conectată bloc cu un transformator avînd bobine de reactanță pe înfășurarea terțiară (X_{b1}) și cu bobine de reactanță X_{b2}, legate direct, la capătul liber;

10 — linie în gol, conectată bloc cu un transformator avînd bobine de reactanță X_{b1} legate la înfășurarea terțiară, cu bobine de reactanță legate direct la capătul liber (X_{b3}) și într-un punct intermediar (X_{b2}).

În coloana 3 se dau formulele pentru calculul tensiunii pe bare, după conectare, U_1', în funcție de tensiunea barelor înainte de conectare, U_1.

În coloana 4 se dau formulele pentru calculul tensiunii U_2, la capătul primului tronson de linie. În expresia acestor formule s-a introdus o funcție auxiliară, notată cu Y_2, care se calculează în prealabil și se introduce în calculul

tensiunii în cazurile 5 şi 10, cazuri cu compensare într-un punct intermediar.

$$Y_2 = \frac{1}{X_{b2}} + \frac{1 - \frac{X_{b3}}{Z_c} \operatorname{tg}\beta l_2}{X_{b3} + Z_c \operatorname{tg} \beta l_2} \qquad (8)$$

Aceasta este admitanţa de intrare a liniei în punctul 2 de compensare intermediară, cu alte cuvinte admitanţa bobinelor X_{b2} în paralel cu cea a tronsonului de linie l_2 cu bobinele finale X_{b3}.

În cazurile 6—10, cînd linia este conectată la sistem în bloc cu un autotransformator, calculul tensiunii ţine seamă de reactanţa de scăpări a acestuia X_{tr}. Cînd bobinele de compensare sînt legate la înfăşurarea terţiară de joasă tensiune a autotransformatorului (cazurile 7, 9 şi 10), valoarea reactanţei X_{b1} va ţine seamă şi de reactanţa de scăpări între înalta tensiune şi joasa tensiune.

Exemplu de aplicare

La barele staţiei *1* se conectează o linie de 400 kV, cu lungime de 400 km, deschisă la staţia *3* (fig. 2). Linia este prevăzută cu compensare prin bobine de reactanţă legate la tensiunea de 400 kV, în punctele *1* şi *2*. În staţia *1* se află o bobină de compensare cu o putere de 50 MVA, iar în punc-

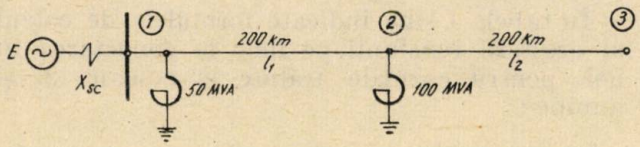


Fig. 2

tul *2* de pe linie, situat la 200 km de staţia *1*, se află alte bobine de compensare, conectate direct, cu putere de 100 MVA. Puterea de scurtcircuit pe barele de 400 kV ale staţiei *1* este de 10 GVA.

Impedanţa caracteristică a liniei : $Z_c = 310\ \Omega$.

Constanta de fază a liniei : $\beta = 6{,}20/100$ km.

Reactanţa de scurtcircuit pe barele de 400 kV :

$$X_{sc} = 400^2/10\,000 = 16\ \Omega.$$

Reactanţa bobinelor de compensare din staţia *1* :

$$X_{b1} = 400^2/50 = 3200\ \Omega.$$

Reactanţa bobinelor de compensare din staţia *2* :

$$X_{b2} = 400^2/100 = 1600\Omega.$$

Constanta de fază a celor două tronsoane de linie 1—2 şi 2—3 :

$$\beta l_1 = \beta l_2 = 12°40'$$

Se utilizează formulele de la punctul 5 din tabela 1.

Admitanţa de intrare în punctul *2* :

$$Y_2 = \frac{1}{X_{b2}} + \frac{1 - \frac{X_{b3}}{Z_c} \operatorname{tg}\beta l_2}{X_{b3} + Z_c \operatorname{tg} \beta l_2} = -0{,}0001\ S$$

Tensiunea în staţia *1*, după conectarea liniei :

$$U_1' = U_1 \left[\frac{1}{1 + \frac{X_{sc}}{X_{b1}} + \frac{Y_2 X_{sc} - \frac{X_{sc}}{Z_c} \operatorname{tg}\beta l_1}{1 + Y_2 Z_c \operatorname{tg}\beta l_1}} \right] = 1{,}008\ U_1$$

$$\Delta U_1 = 0{,}8\,\%.$$

Tensiunea în punctul *2* din linie :

$$U_2 = U_1' \left[\frac{1}{\cos \beta_{l1} + Y_2 Z_c \sin \beta l_1} \right] = 1{,}04\ U_1.$$

Tensiunea în punctul *3* (capătul deschis al liniei) :

$$U_3 = U_2 \left[\frac{1}{\cos \beta_{l2} + \frac{Z_c}{X_{b3}} \sin \beta l_2} \right] = 1{,}065\ U_1$$

2. Determinarea impedanţei de intrare a liniei lungi

Din ecuaţiile de funcţionare a liniilor lungi [1], [2] se cunosc tensiunea U_1 şi curentul I_1 la începutul liniei, în funcţie de parametrii liniei şi de sarcină. În anumite calcule efectuate în practică este mai avantajos să se opereze numai cu una din aceste mărimi şi cu impedanţa de intrare a liniei. Astfel, cînd se cunosc curentul la intrare I_1 şi impedanţa de intrare a liniei, Z_i, se obţine direct tensiunea U_1 prin înmulţirea celor două valori.

De exemplu, pentru calculul tensiunii pe bare în timpul unui scurtcircuit la capătul liniei lungi compensate, sau pentru calculul supratensiunilor date de curenţii armonici care parcurg impedanţa armonică a liniei în situaţii de rezonanţă, este necesar să se determine impedanţa de intrare.

După ce se cunoaşte impedanţa de intrare, se pot efectua calcule cu linii lungi reduse la scheme cu parametri concentraţi, ceea ce uşurează studiul unor regimuri speciale, tranzitorii, deformante sau nesimetrice.

Expresia impedanţei de intrare, în toate cazurile de funcţionare a liniei, este simplificată cînd se introduc în formule valorile tuturor impedanţelor raportate la impedanţa caracteristică a liniei (Z_c). Aceste valori relative se notează în cele ce urmează :

$$R^* = \frac{R}{Z_c}; \quad X^* = \frac{X}{Z_c}; \quad Z_i^* = \frac{Z_i}{Z_c}.$$

După cum se cunoaşte, impedanţa de intrare a unei linii lungi în gol, se calculează cu formula :

$$\underline{Z}_i = -j\, Z_c \operatorname{ctg}\ \beta l$$

(l fiind lungimea liniei).

În valoare relativă, ea are expresia :

$$\underline{Z}_i^* = -j \operatorname{ctg} \beta l. \qquad (9)$$

Formule de calcul al creşterilor de tensiune la conectarea unei linii lungi în gol

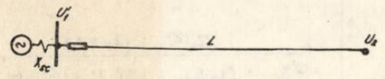
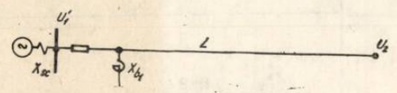
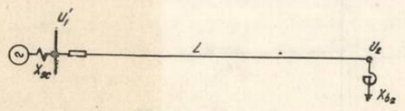
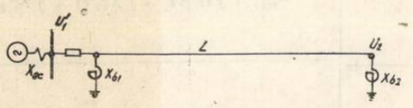
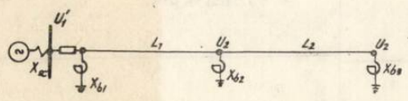
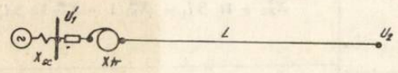
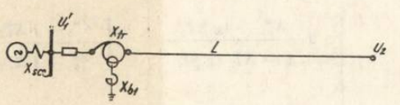
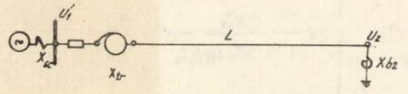
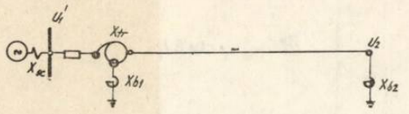
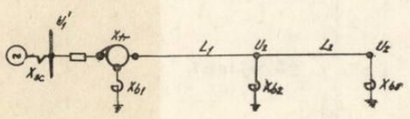
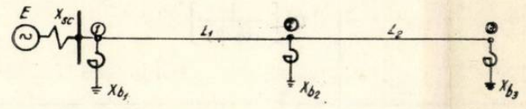
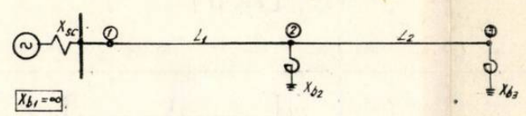
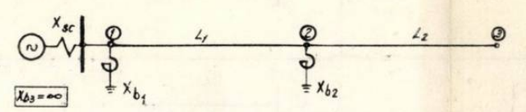
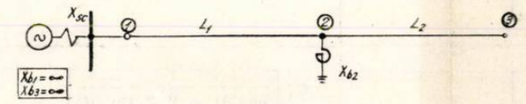
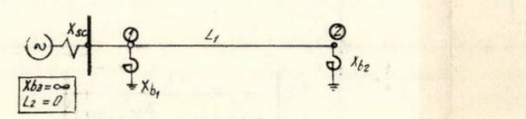
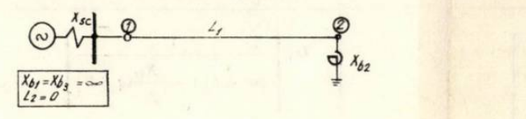
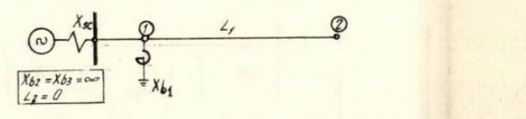
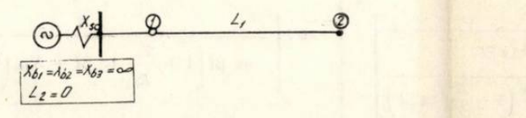
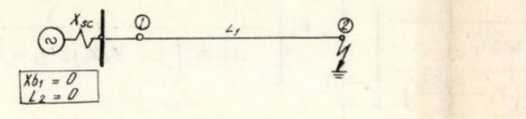
Nr. crt.	Schema de conectare a liniei	U_1'	U_2	U_3	Y_s
1		$U_1\left[\frac{1}{1-\frac{X_{sc}}{Z_s}\operatorname{tg}\beta l}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l}\right]$	–	0
2		$U_1\left[\frac{1}{1+\frac{X_{sc}}{X_{b_1}}-\frac{X_{sc}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l}\right]$	–	0
3		$U_1\left[\frac{1}{1+\frac{X_{sc}}{Z_c}\cdot\frac{1-\frac{X_{b_2}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l}{\frac{X_{b_2}}{Z_c}+\operatorname{tg}\beta l}}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l+\frac{Z_c}{X_{b_2}}\sin\beta l}\right]$	–	$\frac{1}{X_{b_2}}$
4		$U_1\left[\frac{1}{1+\frac{X_{sc}}{X_{b_1}}+\frac{X_{sc}}{Z_c}\cdot\frac{1-\frac{X_{b_2}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l}{\frac{X_{b_2}}{Z_c}+\operatorname{tg}\beta l}}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l+\frac{Z_c}{X_{b_2}}\sin\beta l}\right]$	–	$\frac{1}{X_{b_2}}$
5		$U_1\left[\frac{1}{1+\frac{X_{sc}}{X_{b_1}}+\frac{X_{sc}Y_2-\frac{X_{sc}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l_1}{1+Y_2Z_c\operatorname{tg}\beta l_1}}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l_1+Y_2Z_c\sin\beta l_1}\right]$	$U_2\left[\frac{1}{\cos\beta l_2+\frac{Z_c}{X_{b_3}}\sin\beta l_2}\right]$	$\frac{1}{X_{b_2}}+\frac{1-\frac{X_{b_3}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l_2}{X_{b_3}+Z_c\operatorname{tg}\beta l_2}$
6		$U_1\left[\frac{1}{1-\frac{X_{sc}\operatorname{tg}\beta l}{Z_c-X_{tr}\operatorname{tg}\beta l}}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l\left(1-\frac{X_{tr}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l\right)}\right]$	–	0
7		$U_1\left[\frac{1}{1+\frac{X_{sc}}{X_{b_1}}-\frac{X_{sc}}{Z_c}\cdot\frac{\operatorname{tg}\beta l}{1+\frac{X_{tr}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l}}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l\left(1-\frac{X_{tr}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l\right)}\right]$	–	0
8		$U_1\left[\frac{1}{1+\frac{X_{sc}}{Z_c}\cdot\frac{1-\frac{X_{b_2}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l}{\frac{X_{b_2}}{Z_c}+\operatorname{tg}\beta l+\frac{X_{tr}}{Z_c}\left(1-\frac{X_{b_2}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l\right)}}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l\left[1+\frac{Z_c}{X_{b_2}}\operatorname{tg}\beta l-X_{tr}\left(\frac{\operatorname{tg}\beta l}{Z_c}-\frac{1}{X_{b_2}}\right)\right]}\right]$	–	$\frac{1}{X_{b_2}}$
9		$U_1\left[\frac{1}{1+\frac{X_{sc}}{X_{b_1}}+\frac{X_{sc}}{Z_c}\cdot\frac{1-\frac{X_{b_2}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l}{\frac{X_{b_2}}{Z_c}+\operatorname{tg}\beta l+\frac{X_{tr}}{Z_c}\left(1-\frac{X_{b_2}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l\right)}}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l\left[1+\frac{Z_c}{X_{b_2}}\operatorname{tg}\beta l-X_{tr}\left(\frac{\operatorname{tg}\beta l}{Z_c}-\frac{1}{X_{b_2}}\right)\right]}\right]$	–	$\frac{1}{X_{b_2}}$
10		$U_1\left[\frac{1}{1+\frac{X_{sc}}{X_{b_1}}+\frac{X_{sc}Y_2-\frac{X_{sc}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l_1}{1+Y_2Z_c\operatorname{tg}\beta l_1+X_{tr}\left(Y_2-\frac{\operatorname{tg}\beta l_1}{Z_c}\right)}}\right]$	$U_1'\left[\frac{1}{\cos\beta l_1\left[1+Y_2Z_c\operatorname{tg}\beta l_1-X_{tr}\left(\frac{\operatorname{tg}\beta l_1}{Z_c}-Y_2\right)\right]}\right]$	$U_2\left[\frac{1}{\cos\beta l_2+\frac{Z_c}{X_{b_3}}\sin\beta l_2}\right]$	$\frac{1}{X_{b_2}}+\frac{1-\frac{X_{b_3}}{Z_c}\operatorname{tg}\beta l_2}{X_{b_3}+Z_c\operatorname{tg}\beta l_2}$

Tabela 2

Formule de calcul al impedanței de intrare a unei linii lungi în gol

Nr. crt.	Schema de calcul	$\underline{Z}^*_{i(2)} = \dfrac{\underline{Z}_{i(2)}}{Z_c}$	$\underline{Z}^*_{i(1)} = \dfrac{\underline{Z}_i}{Z_c}$
1		$j\,\dfrac{X^*_{b2}\,(X^*_{b3} + \operatorname{tg}\beta l_2)}{X^*_{b3} + \operatorname{tg}\ \beta l\ +\ X^*_{b2}\,(1 - X^*_{b3}\operatorname{tg}\beta l_2)}$	$j\,\dfrac{X^*_{b1}\,(\underline{Z}^*_{i2} + j\operatorname{tg}\beta l_1)}{\underline{Z}^*_{i(2)} + j\operatorname{tg}\beta l_1 + j\,X^*_{b1}\,(1 + j\underline{Z}^*_{i(2)}\operatorname{tg}\beta l_1)}$
2		$j\,\dfrac{X^*_{b2}(X^*_{b3} + \operatorname{tg}\beta l_2)}{X^*_{b3} + \operatorname{tg}\beta l_2 + X^*_{b2}(1 - X^*_{b3}\operatorname{tg}\beta l_2)}$	$\dfrac{\underline{Z}^*_{i(2)} + j\operatorname{tg}\beta l_1}{1 + j\,\underline{Z}^*_{i(2)}\operatorname{tg}\beta l_2}$
3		$j\,\dfrac{X^*_{b2}}{1 - X^*_{b2}\operatorname{tg}\beta l_2}$	$j\,\dfrac{X^*_{b1}\,(\underline{Z}^*_{i(2)} + j\operatorname{tg}\beta l_1)}{\underline{Z}^*_{i(2)} + j\operatorname{tg}\beta l_1 + j\,X^*_{b1}\,(1 + j\,\underline{Z}^*_{i(2)}\operatorname{tg}\beta l_1)}$
4		$j\,\dfrac{X^*_{b2}}{1 - X^*_{b2}\operatorname{tg}\beta l_2}$	$\dfrac{\underline{Z}^*_{i(2)} + j\operatorname{tg}\beta l_1}{1 + j\,\underline{Z}^*_{i(2)}\operatorname{tg}\beta l_1}$
5		$j\ X^*_{b2}$	$j\,\dfrac{X^*_{b1}(X^*_{b2} + \operatorname{tg}\beta l_1}{X^*_{b2} + \operatorname{tg}\beta l_1 + X^*_{b1}(1 - X^*_{b2}\operatorname{tg}\beta l_1)}$
6		$j\ X^*_{b2}$	$j\,\dfrac{X^*_{b2} + \operatorname{tg}\beta l_2}{1 - X^*_{b2}\operatorname{tg}\beta l_1}$ | $\underline{Z}^*_g\left[\dfrac{\underline{Z}^*_{sc} + j\,X^*_{b2}}{\underline{Z}^*_g + j\,X^*_{b2}}\right]$
7		∞	$j\,\dfrac{X^*_{b1}}{1 - X^*_{b1}\operatorname{tg}\beta l_1}$
8		∞	$\underline{Z}^*_g = -\,j\operatorname{ctg}\beta l_1$
9		0	$\underline{Z}^*_{sc} = j\operatorname{tg}\beta l_1$

Impedanța de intrare a liniei în scurtcircuit are expresia :

$$\underline{Z}_i^* = j \operatorname{tg} \beta l. \qquad (10)$$

La linia în sarcină se aplică diferite formule de calcul, după componența sarcinii :

a) La linia care alimentează o sarcină complexă $\underline{Z}_2 = R_2 + j X_2$, impedanța de intrare $\underline{Z}_i^*$ are o expresie complexă și se calculează determinînd partea reală și partea imaginară a acesteia ($\underline{Z}_i^* = \text{Re}\,[\underline{Z}_1^*] + + j\, Im\,[\underline{Z}_i^*]$) :

$$\text{Re}\,[\underline{Z}_i^*] = \frac{R_2^*}{\cos^2 \beta l} \cdot \frac{1}{1 - 2 R_2^* X_2^* \operatorname{tg} \beta l + (R_2^{*2} + X_2^{*2}) \operatorname{tg}^2 \beta l} \qquad (11)$$

$$Im\,[\underline{Z}_i^*] = Im[\underline{Z}_i^*] = \frac{(1 - R_2^{*2} - X_2^{*2}) \operatorname{tg} \beta l + X_2^* (1 - \operatorname{tg}^2 \beta l)}{1 - 2 R_2^* X_2^* \operatorname{tg} \beta l + (R_2^{*2} + X_2^{*2}) \operatorname{tg}^2 \beta l} \qquad (12)$$

b) La linia care alimentează o sarcină pur activă (sarcină compensată 100%), adică atunci cînd $\underline{Z}_2 = R_2$ și $X_2 = 0$, expresia Z_i se determină mai simplu :

$$\underline{Z}_i^* = \frac{R_2^* (1 + \operatorname{tg}^2 \beta l)}{1 + R_2^{*2} \operatorname{tg}^2 \beta l} + j \frac{(1 - R_2^{*2}) \operatorname{tg} \beta l}{1 + R_2^{*2} \operatorname{tg}^2 \beta l}. \qquad (13)$$

c) La linia care alimentează o sarcină reactivă ($\underline{Z}_2 = j X_2$; $R_2 = 0$), valoarea impedanței $\underline{Z}_i^*$ se calculează :

$$\underline{Z}_i^* = j \frac{\operatorname{tg} \beta l + X_2^*}{1 - X_2^* \operatorname{tg} \beta l} \qquad (14)$$

Expresia (14) se mai poate scrie sub forma :

$$\underline{Z}_i^* = j \operatorname{tg} (\beta l + A),$$

unde $A = \text{arc tg}\, X_2^*$,

ceea ce arată că impedanța de intrare a unei linii lungi cu sarcină reactivă este echivalentă cu a unei linii în scurtcircuit, avînd o lungime mai mare ca l. Lungimea acestei linii fictive este :

$$l_{fictivă} = 1 + \frac{\text{arc tg}\, X_2^*}{\beta}.$$

Linia fictivă în scurtcircuit este considerată cu aceleași constante Z_c și β ca ale liniei reale cu sarcină reactivă X_2.

Pentru linia lungă cu sarcină reactivă ($R_2 = 0$) se mai poate utiliza o altă expresie a impedanței de intrare :

$$\underline{Z}_i^* = Z_g^* \left[\frac{\underline{Z}_{sc}^* + j X_2^*}{\underline{Z}_g^* + j X_2^*} \right], \qquad (15)$$

unde

$\underline{Z}_g^*$ este impedanța de intrare a liniei în gol ;
$\underline{Z}_{sc}^*$ — impedanța de intrare a liniei în scurtcircuit ;
X_2^* — reactanța sarcinii la extremitatea 2 a liniei.

Aici, $\underline{Z}_g^*$ și $\underline{Z}_{sc}^*$ se calculează după expresiile (9) și (10).

Pe baza relațiilor de mai sus se deduc formulele pentru impedanța de intrare a liniilor lungi în diferite situații de compensare. Aceste formule sînt indicate în tabela 2, pentru următoarele cazuri, arătate în coloana 2 :

1 — linie în gol, compensată prin bobine de reactanță legate direct, la capete (X_{b1} și X_{b3}) și într-un punct intermediar (X_{b2}) ;
2 — linie în gol, compensată prin bobine de reactanță X_{b2} într-un punct intermediar și X_{b3} la capătul liniei ;
3 — linie în gol, compensată prin bobine de reactanță X_{b1} la intrare și X_{b2} într-un punct intermediar ;
4 — linie în gol, compensată prin bobine de reactanță X_{b2} într-un punct intermediar ;
5 — linie în gol, compensată la intrare cu X_{b1} și la ieșire cu X_{b2} ;
6 — linie în gol, compensată la ieșire cu X_{b2} ;
7 — linie în gol, compensată la intrare cu X_{b1} ;
8 — linie în gol, necompensată ;
9 — linie în scurtcircuit.

În coloana 3 este dată formula de calcul a unei mărimi auxiliare, care este impedanța de intrare în punctul *2* al liniei și se notează cu $\underline{Z}_{i(2)}^*$.

$$\underline{Z}_{i(2)}^* = Z_{i(2)} / Z_c.$$

În coloana 4 se dă, în valori relative, impedanța de intrare a liniei în punctul *1*. În calculul acesteia se utilizează, pentru cazurile 1, 2, 3 și 4, valoarea calculată în prealabil, $\underline{Z}_{i(2)}^*$ din coloana 3.

Exemplu de aplicare

Să se determine impedanța de intrare a liniei compensate de 400 kV avînd schema din figura 2, cu datele enunțate la capitolul 1.

Se utilizează formulele de la pct. 3 din tabela 2, determinînd cu :

$$X_{2b}^* = \frac{1600}{310} = 5{,}16$$

$$\operatorname{tg} \beta l_2 = 0{,}218.$$

valoarea $\underline{Z}_{i(2)}^* = j \dfrac{X_{b2}^*}{1 - X_{b2}^* \operatorname{tg} \beta l_2} = -j\, 41{,}3$

și în continuare :

$$\underline{Z}_{i(1)}^* = j \frac{X_{b1}^* (\underline{Z}_{i(2)}^* + j \operatorname{tg} \beta l_1)}{\underline{Z}_{i(2)}^* + j \operatorname{tg} \beta l_1 + j X_{b1}^* (1 + j \underline{Z}_{1(2)}^* \operatorname{tg} \beta l_1)}$$

Cunoscînd $X_{b1}^* = \dfrac{3200}{310} = 10{,}3$ și

$$\operatorname{tg} \beta l_1 = 0{,}218,$$

se obține :

$$\underline{Z}_{i(1)}^* = j \frac{10{,}3(-j\, 41{,}3 + j\, 0{,}218)}{-j 41{,}3 + j\, 0{,}218 + j\, 10{,}3\, [1 + j\, (-j\, 41{,}3) 0{,}218]} = j\, 3{,}42$$

și

$$\underline{Z}_{i(1)} = \underline{Z}_{i(1)}^* \cdot Z_c = j\, 3{,}42 \cdot 310 = j\, 1060\ \Omega.$$

Pentru determinarea impedanței de intrare a unei linii la o frecvență armonică de ordinul n ($f = n \cdot 50$ Hz) se aplică formulele de la pct. 2, cu următoarele modificări :

	la frecvența fundamentală	la frecvența armonică
Frecvența	f	$n\,f$
Constanta de fază a liniei	β	$n\beta$
Impedanța sarcinii	$\underline{Z}_2 = R_2 + j\,X_2$	$\underline{Z}_2 = R_2 + j\,n\,X_2$
Reactanța bobinelor de compensare	$X_{b1}\,;\ X_{b2}\,;\ X_{b3}$.	$nX_{b1}\,;nX_{b2}\,;nX_{b3}$.

(Pentru armonicile de ordin 3 și multiplu de 3, se vor considera impedanța caracteristică Z_{c0} și constanta de propagare β_0 la secvența homopolară).

De exemplu la armonica n, impedanța de intrare a unei linii cu sarcină reactivă sau cu bobină de compensare la ieșire (tabela 2, rîndul 6, coloana 4), se calculează cu formula :

$$\underline{Z}^*_{i(1)} = j\,\frac{n\,X^*_{b2} + \operatorname{tg} n\,\beta\,l}{1 - n\,X^*_{b2}\operatorname{tg}\,n\,\beta l},$$

sau impedanța de armonică n a unei linii cu sarcină activă (pct. 2, b), se calculează :

$$\underline{Z}^*_{i(1)} = \frac{R^*_2\,(1 + \operatorname{tg}^2 n\,\beta l)}{1 + R^{*2}_2\,\operatorname{tg}^2 n\,\beta l} + j\,\frac{(1 - R^{*2}_2)\operatorname{tg} n\beta\,l}{1 + R^{*2}_2\operatorname{tg}^2 n\,\beta l}.$$

Valoarea impedanței armonice de intrare poate fi utilizată pentru a determina distorsiunea tensiunii, dată de curenții armonici circulînd prin liniile de transport.

Bibliografie

[1] Vennikov. *Dalnie elektroperedaci.* Moscova, GEI, 1963.

[2] Baltensperger, P. *Ausschalten leerlaufender Leitungen im 300 kV-Netz der Quebec H.E.C. unter extrem schweren Bedingungen.* Brown Boveri Mitt., nr. 7, 1961.

[3] Dinculescu, C., Arie, A., Buhuș, P. și Seleschi, A. *Metodologie de calcul în domeniul liniar, al variațiilor de tensiune pe linii lungi, în regim simetric și asimetric.* Buletinul Institutului politehnic București, XXVIII, nr. 4, iul.-aug. 1966, p. 81—115.

[4] * * * *Rukovodiașce ukazanie po zașcite ot perenapriajenii elektrotehniceskih ustanovok peremenovo toka 3—500 kV.* Elektriceskie stanții, nr. 12, 1964.

(Articol intrat în redacție la 19 august 1968)

—— o ——

Stadiul actual al calculelor stabilității sistemelor electroenergetice cu ajutorul calculatoarelor electronice

Ing. **M. Zickman***)

În ultimii 15 ani, dezvoltarea tehnicii constructive a calculatoarelor electronice, precum și perfecționarea limbajelor și automatizării programelor de calcul au făcut ca utilizarea acestor mijloace moderne de calcul să pătrundă în cele mai variate domenii ale industriei, cercetării științifice, administrației, finanțelor, comerțului etc.

În domeniul industriei energiei electrice, calculatoarele numerice (CN), cît și calculatoarele analogice (CA) sînt utilizate deopotrivă în proiectare și în exploatare, ele executînd întreaga gamă de calcule de regimuri electroenergetice (permanente sau de avarie) și de reglaj, calcule economice, de programare matematică a dezvoltării centralelor, de organizare a lucrărilor pe șantiere, de evidență a datelor de avarii sau a parametrilor de funcționare, de conducere „on-line" a sistemului energetic etc.

Calculele de stabilitate a funcționării sistemelor electroenergetice — prin volumul și varietatea lor, cît și prin modificarea repetată la scurte intervale de timp, ca urmare a schimbării schemelor de funcționare și a structurii sistemelor — ocupă un volum important de lucru al calculatoarelor electronice. Gradul actual de dezvoltare a sistemelor electroenergetice nu mai permite utilizarea vechilor metode analitice, de reducere a sistemelor la 2—3 sau maximum 4 centrale echivalente, pentru a se putea executa pe cale manuală diversele calcule de stabilitate. Erorile mari la care conduc aceste metode, în care se neglijează de obicei efectele reglajelor automate, au avut consecințe, în special asupra proiectării și reglării protecției prin relee, din cauza determinării unor limite de putere și a unor timpi de declanșare sensibil depărtați de realitate.

Introducerea metodelor de calcul automat, în special cu ajutorul CN mari din generația a III-a, a permis realizarea unor programe de stabilitate care să permită modelarea unui număr foarte mare de generatoare și de bare. programe cu care s-au obținut rezultate mult mai exacte și mai aproape de realitate.

1. EVOLUȚIA PROGRAMELOR DE STABILITATE PENTRU CALCULATOARE NUMERICE

La sfîrșitul deceniului trecut, posibilitățile de programare pe CN a calculelor de stabilitate prezentau multe restrîngeri sau limitări ale schemelor de calcul, ținînd seamă de posibilitățile relativ reduse ale memoriei și vitezei de calcul ale primelor CN.

Programul de stabilitate, întocmit în 1958 în S..U.A., a permis studiul stabilității dinamice, la prima oscilație, a unui sistem energetic compus din 48 generatoare.

Stabilitatea statică a unui sistem electroenergetic a fost studiată utilizînd programul de stabilitate dinamică, dar aplicînd mici perturbații generatoarelor, reprezentate prin reactanța lor sincronă (echivalentă). În acest studiu, efectul acțiunii regulatoarelor automate de tensiune asupra stabilității statice a fost fie neglijat, fie considerat prin introducerea unei corecții asupra reactanței sincrone echivalente a generatoarelor [10].

În 1960 s-a stabilit că analiza stabilității dinamice, la prima oscilație, a sistemelor mari interconectate trebuie extinsă prin considerarea pierderilor la cea mai mare parte a generatoarelor, precum și a caracteristicilor dinamice ale sarcinilor la variațiile de tensiune ale sistemului. Reprezentarea sarcinilor prin impedanță constantă conducea la rezultate prea optimiste și de aceea a apărut necesitatea unor caracteristici mai reale (ca, de pildă, cea de curent constant sau cea de putere activă constantă). În urma acestor constatări, s-a întocmit în 1960 în S.U.A. un nou program de stabilitate dinamică, care prevedea reprezentarea mai detaliată a sarcinilor și a generatoarelor. S-au inclus în acest program ecuații pentru circuitul de excitație al mașinii sincrone și pentru variațiile fluxului de scăpări al mașinii, s-au reprezentat sistemele de excitație și de reglaj ale mașinii primare și, de asemenea, s-au reprezentat sarcinile printr-o combinație de caracteristici, funcție de tensiune, pentru impedanță constantă sau curent constant.

*) M. Zickman este inginer proiectant șef la Institutul de studii și proiectări energetice și doctorand la Institutul politehnic București.

În 1965, în S.U.A., s-a constatat că este necesar să se adauge alte detalii în reprezentarea generatorului și a sistemelor sale de reglaj, în special din cauza apariției unor unități de puteri mari și a unor transporturi de puteri importante la distanțe mari. S-au întocmit, cu acest prilej, calcule de stabilitate dinamică la mai multe oscilații, pentru a evalua efectul și a determina cele mai bune caracteristici ale sistemelor de reglaj.

Pentru a determina acest efect a fost necesară dezvoltarea programului pentru reprezentarea mai amănunțită a sistemelor de reglaj, prin luarea în considerație a tuturor amortizărilor. Programul întocmit pe baza celor arătate a fost dezvoltat pentru un număr de 128 generatoare, cu posibilitatea extinderii la un număr de 250 generatoare în cazul utilizării unui calculator numeric mare și rapid (de exemplu, calculatorul-serie tip Ge-600) [10].

În programul întocmit în U.R.S.S., în 1966 [11], s-a studiat stabilitatea statică a unei centrale, reprezentată printr-un generator echivalent, debitînd pe un sistem receptor de putere finită. Pentru generatorul echivalent, de la capătul de plecare, s-a luat în considerație efectul regulatorului automat de tensiune, iar centralele de la capătul receptor al sistemului au fost luate în considerație prin reprezentarea simplificată a generatorului lor echivalent, ca o sursă cu t.e.m. constantă în spatele unei reactanțe constante, depinzînd numai de tipul regulatorului de tensiune.

În acest program s-a considerat că regulatorul de tensiune — proporțional cu prima derivată — al generatorului echivalent de la capătul de plecare este complet reprezentat prin funcția sa de transfer introdusă în ecuația fenomenelor tranzitorii electromagnetice ale sistemului de excitație. În acest fel s-a putut determina influența regulatoarelor de tensiune asupra stabilității statice a generatoarelor.

În 1967, pe baza unui program stabilit anterior, s-a realizat în S.U.A. un nou program de calcul al stabilității dinamice pe CN, pentru un sistem electroenergetic foarte dezvoltat, cuprinzînd 1000 bare, 2000 linii și 250 generatoare. Fiecare dintre aceste generatoare poate fi complet tratat, reprezentîndu-se saturația mașinii în diverse regimuri (inclusiv cel tranzitoriu), detalii asupra sistemului de excitație, a regulatorului de tensiune și a regulatorului mașinii primare. În plus, se pot reprezenta și 50 compensatoare sincrone cu constantă de inerție nulă și cu tensiune constantă în spatele reactanței tranzitorii. Unele dintre cele 1000 bare de sarcină pot fi reprezentate prin caracteristici funcție de tensiune (de exemplu, ca impedanță constantă, curent constant etc.).

2. REPREZENTAREA MATEMATICĂ A GENERATOARELOR SISTEMULUI PENTRU CALCULELE DE STABILITATE

2.1. *Generalități.* În primele programe de calcul al stabilității dinamice pe CN, generatoarele sincrone se reprezentau considerînd t.e.m. tranzitorie, E' constantă, aplicată în spatele reactanței tranzitorii longitudinale x'_d a mașinii, iar sarcinile se reprezentau prin admitanțele echivalente ale regimului staționar introduse în matricea Y a sistemului. Calculele de stabilitate se efectuau cu ajutorul metodelor de integrare numerică a ecuațiilor diferențiale care exprimau deplasările în regimul tranzitoriu ale rotoarelor generatoarelor, considerînd că puterile debitate de mașinile primare în cursul regimului tranzitoriu rămîn constante, cu valoarea avută în regimul staționar anterior.

În aceeași perioadă, calculele de stabilitate statică se întocmeau reprezentînd generatoarele sistemului printr-o t.e.m. constantă, montată înaintea unei reactanțe, dependentă de metoda de reglare a excitației [3]. Această metodă simplificată de cercetare a stabilității s-a considerat că este și acum justificată, atunci cînd sistemul nu funcționează în apropierea limitei de stabilitate și cînd pentru aprecierea stabilității este suficient să se calculeze regimul tranzitoriu într-un interval de timp relativ scurt (0,5 — 1 s).

Metodele arătate se pretează la cercetările preliminare ale stabilității unui sistem ale cărui sarcini nu sînt încă suficient precizate. Rezultatele obținute nu au fost totdeauna satisfăcătoare și, ca urmare, problemele reprezentării complete a generatoarelor și sarcinilor au devenit tot mai discutate și mai controversate.

2.2. *Ecuațiile care definesc comportarea generatorului sincron în regim tranzitoriu.* Folosirea în calculele de stabilitate a modelului matematic complet al generatorului creează dificultăți foarte mari și conduce, în cazul sistemelor dezvoltate, chiar la imposibilitatea executării calculelor.

Deoarece determinarea tuturor mărimilor de calcul este dificilă, necesitînd un volum foarte mare de muncă teoretică și experimentală, se consideră, în prezent, justificat ca generatoarele să se prezinte numai prin factorii principali care definesc comportarea lor în regim tranzitoriu. În acest caz, programul este întocmit astfel încît, fără modificarea lui, să se poată introduce, la dorința operatorului, și factori suplimentari atunci cînd se apreciază că acest lucru este util.

Reprezentarea generatorului într-un asemenea model matematic se face de obicei prin ecuații diferențiale, scrise în coordonatele d și q ale mașinii, rigid legate cu rotorul acesteia. În această ipoteză, sistemul de ecuații se deosebește de ipotezele inițiale date de P a r k în 1933, prin aceea că aceste ecuații descriu procesul tranzitoriu în înfășurările de amortizare după aceleași axe d și q ale mașinii [3].

Simplificarea volumului respectiv de calcule se mai obține considerînd că este cu totul admisibil [1] ca să se întocmească cercetarea în următoarele ipoteze :

— neglijarea componentei aperiodice a curenților circuitelor statorice și, ca urmare, și a componentelor curenților de 50 Hz în circuitele rotorice ;

— considerarea frecvenței sistemului în timpul procesului tranzitoriu ca fiind constantă, deci și a impedanțelor sistemului ca fiind absolut constante în această perioadă.

Cu considerarea tuturor celor expuse mai sus, ecuațiile procesului tranzitoriu în înfășurarea rotorului și în înfășurările de amortizare ale generatorului sincron (a se vedea și schemele echivalente din figura 1), pot fi scrise cu următorul sistem de ecuații diferențiale [5] :

$$T'_{d_0} \frac{dE'_q}{dt} = E_{qe} - (x_d - x'_d)\, i_d - E'_q \tag{1}$$

$$T''_{d_0} \frac{dE''_q}{dt} = T''_{d_0} \frac{dE'_q}{dt} - (x'_d - x''_d)\, i_d - E'_q + E''_q \tag{2}$$

$$T''_{q_0} \frac{dE''_d}{dt} = (x_q - x''_q)\, i_q - E''_d \tag{3}$$

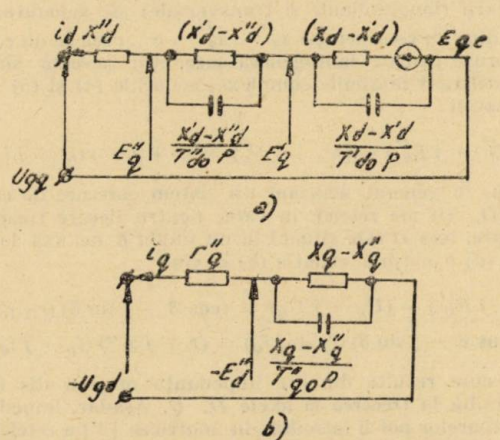


Fig. 1. Schema echivalentă de reprezentare a generatorului (cu luarea în considerare a rezistenței active în circuitul statorului) : *a* — după axa longitudinală ; *b* — după axa transversală.

Ecuațiile care leagă t.e.m. și curentul generatorului cu tensiunea la bornele sale sînt :

$$U_q = E''_q - x''_d i_d - r i_q \tag{4}$$

$$U_d = E''_d + x''_q i_q - r i_d \tag{5}$$

Ecuația mișcării rotorului generatorului este :

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} = M_T - M_{el}, \qquad (6)$$

în care momentul electric M_{el} al generatorului este :

$$M_{el} = E_d'' i_d + E_q'' i_q - (x_d'' - x_q'') i_q. \qquad (7)$$

Calculul de stabilitate al sistemului constă în integrarea numerică (în mod obișnuit prin metoda pas cu pas sau prin alte metode, de exemplu Runge-Kutta) a ecuațiilor (1), (2) ,(3) și (6), pentru fiecare generator al sistemului. Astfel, la fiecare treaptă de integrare (pentru aflarea t.e.m.) se calculează curenții i_d și i_q din statorul generatorului prin rezolvarea sistemului de ecuații nodale scrise cu matricea $[Y]$ a sistemului $[I] = [Y] \cdot [V]$, în care $[V]$ este matricea-coloană a tensiunilor la bornele generatoarelor (pentru toate nodurile generatoare), raportate la sistemul rotativ sincron de coordonate d, q, în care se scriu ecuațiile rețelei.

În măsura în care se ia în considerație că, în conformitate cu ecuațiile (4) și (5), tensiunea la bornele generatorului (prin urmare și tensiunea V) este funcție de tensiunile electromotoare E_q'' și E_d'', calculul curenților statorici i_d și i_q trebuie să se facă prin metoda iterației. Deoarece acest calcul trebuie să se facă pentru fiecare treaptă de integrare numerică, este necesar să se aplice o metodă iterativă, fapt care mărește în mod corespunzător volumul calculelor de stabilitate.

La ISPE, s-a întocmit de curînd un program de stabilitate dinamică pentru calculatorul Elliott 4120 [9], în cadrul căruia studiul regimurilor tranzitorii ale mașinii sincrone se face pe baza unui sistem de ecuații diferențiale dedus din ecuațiile Park, neglijînd t.e.m. de pulsație și rezistențele electrice. În programul arătat se definesc t.e.m. supratranzitorii e_q'' și e_d'', după axele transversală și longitudinală ale mașinii. Cu ajutorul acestor tensiuni și considerînd anizotropia supratranzitorie a mașinii sincrone ($x_q'' \neq x_d''$), se definește o t.e.m. fictivă e_0'', în spatele reactanței x_q'', cu ajutorul căreia se reprezintă fiecare mașină sincronă interconectată cu rețeaua.

Această cercetare se înscrie în tendința modernă de a găsi o reactanță unică pentru reprezentarea mașinii sincrone.

2.3. *Simplificarea modelului matematic de bază al generatorului.* Micșorarea importantă a volumului de calcule se poate obține neglijînd diferențele dintre reactanțele supratranzitorii (longitudinale și transversale) ale generatoarelor, adică luînd în considerație $x_d'' = x_q'' = x''$, ceea ce nu convine totdeauna pentru hidrogeneratoare. Cu această simplificare, utilizînd mărimile complexe, ecuațiile (4) și (5) se pot scrie astfel :

$$(E_d'' + j E_q'') - (U_d + j U_q) = (r + j x'')(i_d + j i_q) \qquad (8)$$

Dacă, în general, utilizăm un sistem oarecare de coordonate (D, Q) ale rețelei, în care, pentru fiecare treaptă de integrare, axa D este situată la un unghi δ de axa longitudinală (d) a mașinii, ecuația (8) devine :

$$(E_D'' + j E_Q'') - (U_D + j U_Q) = (\cos \delta + j \sin \delta)(r + j x'') \times$$
$$\times (\cos \delta - j \sin \delta)(i_D + j i_Q) = (r + j x'')(i_D + j i_Q). \qquad (9)$$

Așa cum rezultă din (9), impedanța mașinii din (8) nu se schimbă la trecerea la axele D, Q. Așadar, impedanțele generatoarelor pot fi introduse în matricea $[Y]$ a rețelei, iar la calculul curenților, prin rezolvarea sistemului de ecuații $[I] = [Y] \cdot [V]$ ale rețelei, se poate lua pentru nodurile generatoare $V = E_D'' + jE_Q''$. Este evident că în acest caz rezolvarea sistemului de ecuații ale rețelei se va face direct — fără aplicarea unei metode iterative ecuațiilor (4) și (5)—, ceea ce reduce volumul de calcul în special pentru sistemele cu un număr mare de generatoare.

O altă cale de simplificare a ecuațiilor generatorului constă în neglijarea circuitelor de amortizare, considerînd $T_{d_0}'' = T_{q_0}'' = \infty$. Această ipoteză, în care numărul de ecuații care se scriu pentru procesul tranzitoriu în generator se reduce, micșorează simțitor volumul calculelor de stabilitate, dar totodată micșorează și exactitatea lor.

Trebuie menționat că în literatura de specialitate se apreciază că în majoritatea cazurilor nu este admisibilă neglijarea prezenței polilor aparenți în descrierea fenomenelor tranzitorii, ceea ce impune în mod evident calculul curenților statorici printr-o metodă iterativă.

3. FACTORI CARE INFLUENȚEAZĂ MODELUL MATEMATIC DE BAZĂ AL GENERATORULUI

În cele de mai jos se trec în revistă o serie de factori care nu sînt luați în considerare în modelul matematic al generatorului reprezentat prin relațiile (1)—(7), arătîndu-se modul cum aceștia intervin în calculele mai exacte de stabilitate a sistemului.

3.1. *Influența saturației.* Saturația mașinii depinde de fluxul total în aer al generatorului, și, din această cauză, influența în mod riguros a acestuia trebuie tradusă în ecuațiile generatorului atît după axa longitudinală, cît și după cea transversală.

În [5] se propune, de pildă, să se țină seamă de saturația generatorului prin introducerea în ecuațiile (1) și (3), în locul lui E_q' și E_d'', a funcțiilor neliniare $H(E_q')$, respectiv $H(E_d'')$, determinate cu ajutorul caracteristicii de mers în gol a generatorului. Această caracteristică poate fi introdusă în calcule fie pe bază de tabele, fie pe baza unei reprezentări analitice aproximative. O suficient de bună aproximație a caracteristicii de mers în gol poate fi, de exemplu, următoarea funcție [5] :

$$I_f = E' + cE'^d, \qquad (10)$$

unde d poate lua valorile 5 sau 7.

Ținînd seamă că necesitatea introducerii în calculele de stabilitate a saturației generatorului nu este încă clarificată pînă astăzi [3], precum și că un calcul exact al acestei influențe este foarte complicat, se admite de obicei că în calculele de stabilitate se pot introduce, cu o suficient de bună aproximație, valorile reactanțelor saturate ale generatoarelor, determinate la tensiunea nominală.

3.2. *Pierderile de putere în rotorul generatorului în regim de scurtcircuit.* La calculul stabilității dinamice a sistemelor trebuie dată atenție faptului că valorile inițiale mari ale curenților de scurtcircuit măresc pierderile de putere activă din rotoarele generatoarelor.

Aceste pierderi sînt produse de curenții la frecvența de bază (50 Hz) din înfășurările de excitație și de amortizare ale rotoarelor și pot fi puse în evidență prin introducerea unui termen suplimentar în membrul drept al ecuației (6) de mișcare a generatorului. În literatura de specialitate se arată că, deși nu a fost demonstrată importanța considerării acestor pierderi în calculele de stabilitate dinamică a sistemelor, este totuși de dorit, în cadrul îmbunătățirii exactității acestor calcule, să se țină seamă de influența pierderilor în rotoarele generatoarelor [1].

3.3. *Influența circuitelor de amortizare ale generatorului.* În literatura de specialitate [3] se arată că considerarea circuitelor de amortizare în calculele de stabilitate prin introducerea în ecuația mișcării generatorului a unui termen proporțional cu alunecarea absolută $P_d = K_d \cdot s_{abs}$ are un domeniu redus de aplicabilitate.

În prezent, în programele de calcul al stabilității pe CN se folosește o metodă simplificată, pentru a ține seamă de influența circuitelor de amortizare [1], prin introducerea în calcule a puterii asincrone a generatorului, definită de expresia :

$$P_{as} = U_g^2 \cdot s \cdot \omega \left[\left(\frac{1}{x_d''} - \frac{1}{x_d'} \right) T_{d_0}'' \sin^2 \delta_g + \right.$$
$$\left. + \left(\frac{1}{x_q''} - \frac{1}{x_q} \right) T_{q_0}'' \cos^2 \delta_g \right]. \qquad (11)$$

O altă metodă mai exactă este determinarea puterii P_{as} prin considerarea și a pierderilor datorate curenților turbionari în rotorul masiv al generatorului.

În privința influențelor circuitelor de amortizare asupra înfășurării de excitație trebuie arătat că la scrierea ecuațiilor de funcționare ale generatorului după axele d și q rezultă că pe axa longitudinală a mașinii înfășurarea de excitație este în prezența componentei după axa d a circuitelor de amortizare. Acest lucru poate fi pus în evidență prin folosirea ecuațiilor (1) și (2) în forma [5]:

$$T'_{d_0}\frac{dE'_q}{dt} = G'E_{qe} - (x_d - x'_d)\,i_d - E'_q \qquad (12)$$

$$T''_{d_0}\frac{dE''_q}{dt} = G''E_{qe} + T''_{d_0}\frac{dE'_q}{dt} - (x'_d - x''_d)\,i_d + E'_q - E''_q, \qquad (13)$$

unde:

$$G' = \frac{T'_{d_0} - T_{kd}}{T'_{d_0} - T''_{d_0}} \text{ și } G'' = \frac{T''_{d_0} - T_{kd}}{T'_{d_0} - T''_{d_0}}. \qquad (14)$$

În ultimul program de stabilitate întocmit în cadrul ISPE [9] se ține, de asemenea, seama de această influență.

3.4. *Influența rotoarelor masive asupra ecuațiilor proceselor tranzitorii ale generatorului.* Ecuațiile (2) și (3), scrise după axele d și q ale generatorului pe fiecare dintre care se găsește cîte o înfășurare de amortizare, nu reflectă exact procesul tranzitoriu al generatorului în sarcină, în cazul existenței mai multor contururi de amortizare prin care se închid curenții turbionari mari din rotorul masiv al generatorului.

În mod aproximativ, efectul rotorului masiv poate fi pus în evidență [5] prin înlocuirea ecuațiilor (2) și (3) cu ecuațiile operaționale:

$$E'_q - E''_q = \frac{B_{d_0}}{\sqrt{p}}\,[E''_q + (x'_d - x'')\,i_d - E'_q] \qquad (15)$$

$$E''_d = \frac{B_{q_0}}{\sqrt{p}}\,[(x_q - x'')\,i_q - E''_d], \qquad (16)$$

în care s-a considerat $x''_d = x''_q = x''$ și s-au notat coeficienții constanți B_{d_0} și B_{q_0} cu:

$$B_{d_0} = \frac{\omega_0 \cdot r_{kd}}{(x'_d - x'')} \text{ și } B_{q_0} = \frac{\omega_0 \cdot r_{kq}}{(x_q - x'')}.$$

Pentru rezolvarea ecuațiilor (15) și (16) pe CN trebuie să se stabilească cu aproximație termenul $1/\sqrt{p}$. Examinarea funcției periodice și a caracteristicii de frecvență a acestui termen [5] a arătat că este suficient de bună aproximația înlocuirii acestui termen cu relația:

$$\frac{1}{\sqrt{p}} = \frac{\alpha}{p} + \frac{\beta}{1 + T_1 p} + \frac{\gamma}{1 + T_2 p}, \qquad (17)$$

în care α, β, γ, T_1 și T_2 sînt coeficienți constanți. Prin înlocuirea termenului $1/\sqrt{p}$ cu expresia (17), fiecare dintre ecuațiile (15) și (16) poate fi reprezentată prin trei ecuații diferențiale de gradul I.

3.5. *Examinarea acțiunii regulatoarelor asupra calculelor de stabilitate*

3.5.1. Sisteme de excitație și de reglaj al tensiunii

În prezent, datorită dezvoltării și modernizării instalațiilor de reglaj automat, problema considerării juste a influenței acestora asupra stabilității se impune din ce în ce mai mult, în special în cazul cercetărilor făcute pentru regimurile sistemelor energetice în vecinătatea limitelor de stabilitate [1], [9], [11].

În cazul examinării stabilității cu considerarea instalațiilor de reglaj apar două cerințe contradictorii: pe de o parte, să se adopte o schemă de calcul corespunzătoare care să permită analiza separată a influenței regulatoarelor asupra stabilității, iar pe de altă parte să se cerceteze posibilitatea reprezentării simplificate a instalațiilor de reglaj, care să permită examinarea stabilității sistemelor dezvoltate fără mărirea prohibitivă, din punct de vedere economic, a timpului de lucru al CN.

a) *Studii pentru determinarea influenței reglajului asupra stabilității*

În cazul analizei influenței regulatorului de tensiune asupra stabilității sistemului energetic, este suficient ca cercetarea să se facă pe baza celei mai simple scheme de reprezentare a sistemului, și anume generator debitînd pe bare de putere

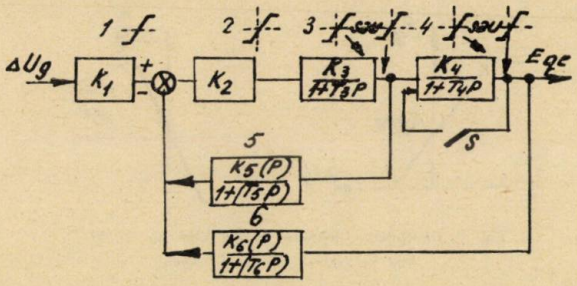


Fig. 2. Schema-bloc a sistemului de excitație (parametrii elementelor între paranteze se pot neglija).

infinită sau generator echivalent al unei centrale debitînd pe bare de putere finită. Reprezentarea sistemului de excitație, a regulatorului de tensiune și a generatorului trebuie să fie în acest caz cît mai detaliat făcută. Un exemplu pentru o asemenea reprezentare, în cadrul programului unui CN, poate să fie schema arătată în figura 2, care a fost aplicată [5] pentru asemenea calcule de stabilitate.

Pentru reprezentarea detaliată a sistemului de excitație și reglaj al tensiunii poate să servească și schema din figura 3 *a*, utilizată foarte mult în ultimul timp în Anglia, sau schema simplificată a aceluiași sistem de excitație din figura 3 *b*.

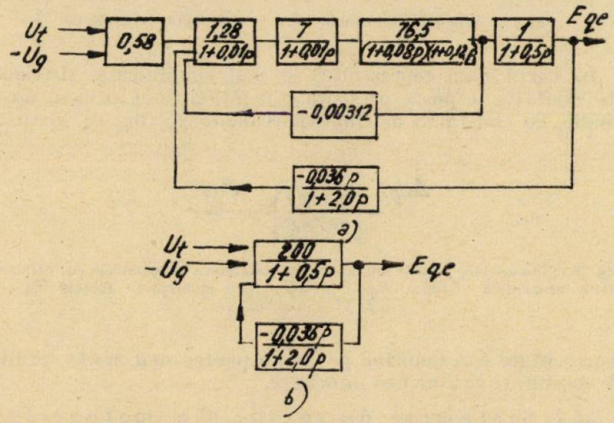


Fig. 3. Schema-bloc a sistemului de excitație cu regulatoare de tensiune utilizate în mod curent în Anglia:
a – schema detaliată; *b* – schema simplificată.

În U.R.S.S., regulatoarele, de tipul cu acțiune după prima și a doua derivată a mărimilor caracteristice ale rețelei, au fost încercate în anumite cazuri speciale de funcționare a rețelei. Rezultatele încercărilor au arătat că, dacă regulatoarele sînt corect studiate, ele sînt capabile de a asigura exploatarea normală a rețelei pentru toate cazurile arătate.

b) *Analiza stabilității sistemelor energetice dezvoltate*

În acest caz, necesitatea simplificării reprezentării regulatoarelor de tensiune este necesară din cauza numărului mare de generatoare care trebuie reprezentate. Reprezentarea detaliată a regulatorului de tensiune nu este în acest caz necesară, deoarece complică mult programul de calcul și mărește timpul de lucru al CN.

În Anglia, reprezentarea simplificată a sistemelor de excitație pentru calculele de stabilitate s-a determinat pe baza analizei funcțiilor de transfer ale mai multor sisteme de excitație [3]. S-a arătat că este suficient, cu o bună aproximație, să se adopte pentru acestea următoarele ecuații :

$$E_{qe} = \frac{f(\Delta U_1)}{(1 + T_r p)(1 + T_e p)} \tag{18}$$

$$\Delta U_1 = \Delta U_g - \frac{f'(E_{qe})}{1 + pT_g}, \tag{19}$$

unde $f(\Delta U_1)$ și $f'(E_{qe})$ sînt funcțiile neliniare arătate în figura 4.

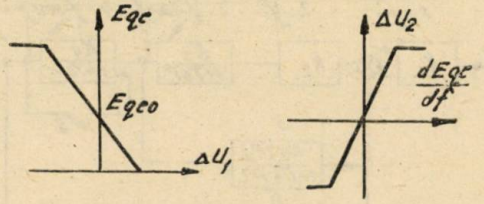


Fig. 4. Dependența neliniară a funcțiilor E_{qe} și ΔU_2 : $E_{qe} = f(\Delta U_1)$ și $\Delta U_2 f'(E_{qe})$.

Schema-bloc a sistemului de excitație care corespunde relațiilor (18) și (19) este arătată în figura 5, schemă care se observă că este ceva mai detaliată decît schema simplificată din figura 3 *b*.

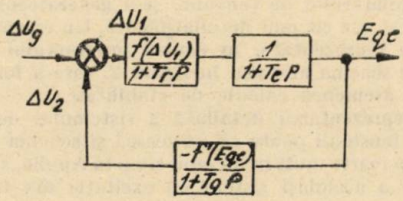


Fig. 5. Schema-bloc, simplificată, a sistemului de excitație.

În cazul unei reprezentări și mai simplificate, sistemul de excitație se poate prezenta sub forma unui element aperiodic, cu constanta de timp echivalentă T_e (fig. 6), această

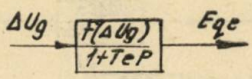


Fig. 6. Schema-bloc pentru reprezentarea sistemului de excitație cu caracteristică aperiodică (funcția $E_{qe} = f(\Delta U_g)$ este identică cu funcția $E_{qe} = f(\Delta U_1)$ din fig. 4.

reprezentare corespunzînd pe deplin pentru mai multe studii de stabilitate care au fost întocmite.

3.5.2. Sistemele de reglaj ale motoarelor primare

Reprezentarea sistemelor de reglaj ale motoarelor primare se poate face printr-o varietate foarte mare a funcțiilor de transfer, deoarece în prezent există sisteme de reglaj pentru turbine hidraulice sau cu abur, iar fiecare dintre acestea pot fi o combinație de sisteme hidraulice, mecanice și electrice. Pentru fiecare dintre aceste sisteme, reglajul se poate face prin modificarea presiunii, accelerației, vitezei, puterii etc.

Complicația și varietatea sistemelor de reglaj ale motoarelor primare îngreuiază foarte mult nu numai realizarea unui model matematic, unic, dar și stabilirea unui asemenea model detaliat pentru un sistem concret oarecare. În prezent se întocmesc cercetări mari pentru realizarea modelelor matematice ale acestor sisteme.

Reprezentarea adecvată a regulatoarelor motoarelor primare pentru calculele de stabilitate a sistemelor energetice a fost analizată în literatura de specialitate [5], criticîndu-se unele reprezentări care s-au dovedit inexacte și acordîndu-se atenție simplificării modelului care să mențină totuși, în aceste calcule, acțiunea reală a factorilor de bază.

Pentru comportarea agregatelor la pierderea sarcinii sau la avarii grele în sistem, s-a propus un model pentru reprezentarea acțiunii sistemului de reglaj al unei turbine cu

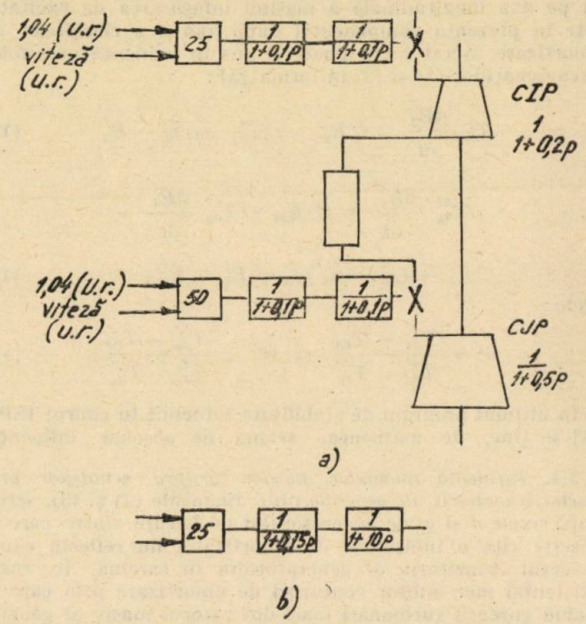


Fig. 7. Schema-bloc a turbinei cu abur prevăzută cu supraîncălzire intermediară, inclusiv sistemul ei de reglaj : *a* — schema detaliată ; *b* — schema simplificată.

abur de putere mare, prevăzută cu supraîncălzire interme diară, model arătat în figura 7 *a*. Pentru studiul sistemelor complicate s-a propus, în aceeași lucrare, modelul simplificat din figura 7 *b*.

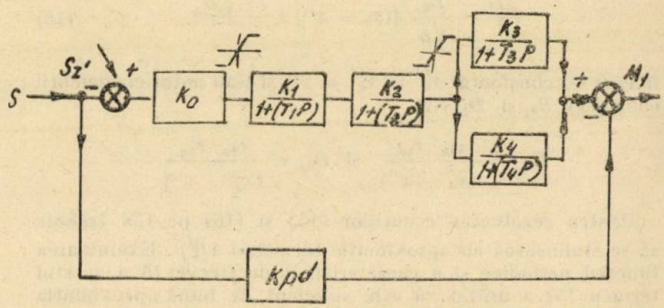


Fig. 8. Schema-bloc a sistemului de reglaj al turbinei (parametrii elementelor între paranteze se pot neglija).

Schema arătată în figura 8 se poate folosi atît la turbine cu abur cît și la turbine hidraulice [5], prin modificarea,

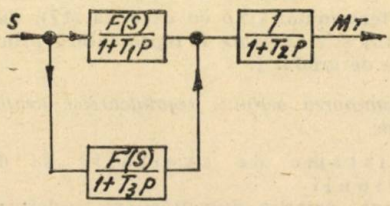
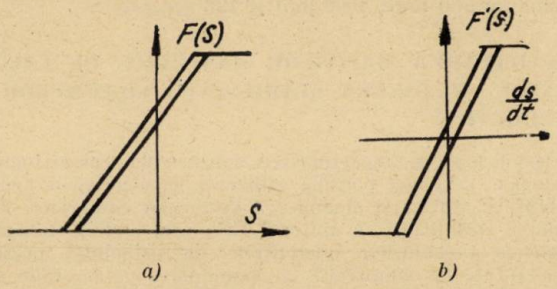


Fig. 9. Schema-bloc, simplificată, a sistemului de reglaj al turbinei.

anularea sau schimbarea de semn a unor constante simple sau a constantelor de timp din schemă.

În programul de calcul pentru calculul stabilității dinamice întocmit în Anglia [3], considerarea acțiunii reglajului

urbinei cu abur se face în concordanţă cu schema simplificată din figura 9, cu o zonă de insensibilitate şi de limitare, aşa cum se arată în caracteristicile din figurile 10 *a* şi 10 *b*.



a) *b)*

Fig. 10. Zona de insensibilitate şi de limitare a regulatorului de viteză.

4. REPREZENTAREA SARCINILOR ÎN CAZUL CALCULELOR DE STABILITATE DINAMICĂ A SISTEMELOR ENERGETICE CU CALCULATOARE NUMERICE

La examinarea stabilităţii, reprezentarea corectă a generatoarelor este cunoscut că are o importanţă deosebită, şi acest lucru poate fi făcut destul de bine astăzi, prin multiplele informaţii pe care le avem asupra parametrilor şi modului de funcţionare a acestora. O importanţă deosebită asupra rezultatelor reale de stabilitate o are însă şi reprezentarea sarcinilor ale căror parametri şi regimuri de funcţionare sînt foarte greu de modelat, în măsura în care ele nu permit o reprezentare satisfăcătoare prin caracteristicile statice şi dinamice ale sarcinilor reale.

Deoarece o parte însemnată a sarcinilor sistemelor energetice o constituie motoarele asincrone, iar caracteristicile acestor motoare determină stabilitatea sarcinii şi influenţează deci în mod corespunzător condiţiile de stabilitate a sistemului energetic în totalitate, este firesc ca problemei reprezentării sarcinii, constituită din motoare asincrone, să i se acorde în prezent o mare atenţie în calculele de stabilitate [1], [2], [5].

La introducerea în programul de stabilitate, modelul matematic al motorului asincron tinde, de regulă, să reprezinte ecuaţiile care scriu procesele tranzitorii în motor, în forma în care au fost scrise şi ecuaţiile pentru generatoare. Astfel, în scopul obţinerii unei bune elasticităţi a programului, ecuaţiile motorului asincron pot să fie scrise în acelaşi sistem de coordonate [5] ca şi ecuaţiile generatorului, deoarece motorul asincron are înfăşurare de dispersie pe rotor. Aceste ecuaţii pot fi obţinute din ultimele ecuaţii scrise pentru generator cu unele simplificări sau modificări.

De exemplu, în programul de calcul al stabilităţii scris în [5], ecuaţiile motorului asincron se obţin din relaţiile (1)—(7), cărora li s-au adus următoarele simplificări:

$$x_d'' = x_q'' = x_d' = x'; \quad x_d = x_q = x;$$
$$T'_{d_0} = T''_{q_0} = T_0; \quad T''_{d_0} = \infty;$$
$$E_{qe} = 0$$

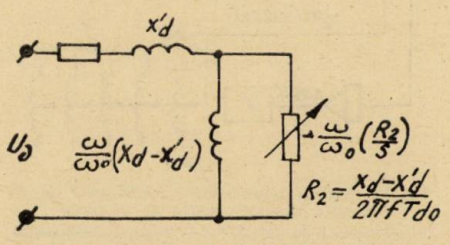


Fig. 11. Schema echivalentă pentru reprezentarea motorului asincron.

Ecuaţiile de reprezentare corespund pentru regimul care stabileşte schema echivalentă a motorului asincron arătată în figura 11, cu observaţia că, în regim normal de lucru, alunecarea P_{el} şi P_{mec} are valori negative.

Ecuaţiile reprezentative descriu suficient de bine procese tranzitorii în motor, socotind nu numai procesele electro mecanice, dar şi procesele electromagnetice din rotor. La examinarea stabilităţii sistemelor energetice, reprezentarea simplificată a sarcinii asincrone — cînd se neglijează procesele tranzitorii din rotor — se poate face atît pentru motoarele mici cît şi pentru cele mari [1]. Justificarea acestei posibilităţi de simplificare constă în faptul că, de obicei, informaţiile pe care le avem asupra parametrilor sarcinilor compuse din motoare sînt foarte limitate şi scrierea ecuaţiilor care reprezintă fenomenele tranzitorii pierde din rigurozitate (şi deci şi din eficacitate) după considerarea unor valori aproximative ale parametrilor. De aceea, în literatură [1] se apreciază că luarea în consideraţie a unor factori importanţi, cum ar fi inerţia motoarelor şi caracteristicile lor statice (strîns legate de tensiune şi alunecare), ar putea fi absolut suficientă pentru cazul calculelor de stabilitate dinamică.

În ultimii ani s-a propus o cale mai simplificată de reprezentare a sarcinii motoarelor, pe baza studierii comportării acestora la scăderea tensiunii la bornele lor şi a restabilirii ei ulterioare. S-a recomandat reprezentarea motoarelor prin următoarele caracteristici statice: putere constantă activă şi reactivă pentru motoarele de putere mare şi putere activă constantă şi reactanţă constantă pentru motoarele de putere mică.

Important de menţionat pentru o asemenea reprezentare aproximativă este faptul că procesele tranzitorii în motor se amortizează într-un timp considerabil mai mic decît cel în decursul căruia se analizează stabilitatea dinamică a sistemelor energetice [3].

Cele expuse mai sus se referă la reprezentarea motoarelor asincrone în cazul examinării stabilităţii sistemelor energetice. În cazul sarcinii complexe, care conţine, în afara motoarelor, şi o parte însemnată de alte genuri de consumatori, se consideră raţională reprezentarea sarcinii, atît în calculele stabilităţii statice cît şi în calculele stabilităţii dinamice, sub forma caracteristicilor statice ale puterii funcţie de tensiune. În acest mod, caracteristicile statice pot fi introduse în calcule fie sub formă de tabele, fie sub forma funcţiilor analitice de aproximare.

5. PROGRAME DE STABILITATE A SISTEMELOR ENERGETICE PENTRU CALCULATOARE NUMERICE

Examinarea stabilităţii dinamice a sistemelor energetice pe CN constă, aşa cum s-a arătat, în determinarea curbelor de variaţie a principalilor parametri în timpul fenomenului tranzitoriu, prin metoda integrării numerice a ecuaţiilor diferenţiale ale sistemului [5].

O particularitate a calculelor stabilităţii sistemelor energetice pe CN constă în aceea că, de regulă, nu este necesară o reprezentare detaliată, identică a tuturor generatoarelor din noduri şi nici a tuturor sarcinilor sistemului. În funcţie de schema sistemului care se examinează şi în funcţie de problemele ce se pun, unele dintre generatoare sau unele dintre sarcinile sistemului pot fi reprezentate simplificat, fără considerarea influenţei unor factori a căror studiere, în alte examinări, poate să apară ca obligatorie [3]. De aceea una dintre cele mai importante necesităţi pentru un program de calcul este asigurarea unei elasticităţi care să permită luarea în considerare a generatoarelor şi a elementelor de sarcină, atît în detaliu cît şi într-o formă simplificată.

Această simplificare trebuie înţeleasă ca una dintre căutări în vederea micşorării timpului de calcul. Astfel, un program de calcul al stabilităţii dinamice poate să fie condus după unul sau două subprograme, care corespund fie reprezentării detaliate, fie celei simplificate a generatorului. Cu ajutorul subprogramelor separate se calculează de asemenea şi procesele tranzitorii în sistemele de reglaj al excitaţiei sau al motoarelor primare. Acestea oferă posibilitatea să se modifice destul de simplu atît schema sistemului de reglaj cît şi detalierea reprezentării lui.

În cazul sistemelor energetice complicate, o problemă importantă este aceea a redării rezultatelor de calcul, al căror volum este excepţional de mare. Ca un exemplu pot fi privite metodele de micşorare a volumului datelor de ieşire, concretizînd rezultatele de calcul asupra mişcării rotoarelor generatoarelor la analiza stabilităţii dinamice a sistemului. Aceste

date se obţin fie sub forma funcţiilor $\delta = f(t)$, fie sub forma funcţiilor reprezentînd variaţia unghiului δ în raport cu viteza (în sistemul de coordonate cartezian sau polar).

De obicei nu sînt absolut necesare toate datele pentru ridicarea completă a fiecăreia dintre curbele $\delta = f(t)$, ci este suficient ca din CN să obţinem doar valorile extreme ale unghiului, putînd astfel să determinăm alura curbei din timpul procesului tranzitoriu [3]. Prescurtînd astfel volumul total al calculelor, se măreşte mult eficacitatea calculatorului.

Un alt exemplu de stabilire a programului de calcul pentru stabilitatea statică şi dinamică este cel descris în [5], în care calculul se execută după un program principal, în care sînt cuprinse anumite subprograme speciale, cu ajutorul cărora se face distribuirea grupelor de diferite date în memoria CN, obţinîndu-se o elasticitate maximă a programului atît în ceea ce priveşte structura sa, cît şi în ceea ce priveşte memorizarea datelor obţinute. Generatoarele se reprezintă după mai multe modele matematice, mai simplificate sau mai detaliate, şi fiecare dintre acestea se codifică cu numere speciale de control, în conformitate cu mărimea care în program duce la alegerea corespunzătoare a datelor.

În acelaşi program, la ieşire se înregistrează nişte semne speciale (marcaje), care caracterizează comportarea în totalitate a sistemului energetic analizat şi care elimină în acest fel necesitatea construirii curbelor procesului tranzitoriu. Aceste „marcaje" arată cînd unghiul relativ, viteza şi acceleraţia trec prin maxim sau minim. Cu ajutorul acestor „marcaje" în maşină se formează concluziile asupra comportării sistemului energetic în procesul tranzitoriu şi se înregistrează direct comentariile corespunzătoare lor.

În programul realizat în S.U.A., în 1967 [10], pentru un sistem energetic cuprinzînd 1000 bare, 2000 linii, 250 generatoare şi 50 compensatoare sincrone (a se vedea şi cap. 2, mai sus), reprezentarea fiecărui generator poate cuprinde excitaţia şi regulatoarele sale de tensiune şi viteză, iar programul permite ca aceste reprezentări să se facă diferit la un grup de generatoare în raport cu altul. Programul permite de asemenea ca toate calculele de stabilitate să se poată executa fie cu $\hat{E}_d$ constantă în spatele reactanţei x'_d, fie cu E'_q variabilă, cu valori diferite la fiecare treaptă de integrare. Dacă se doreşte luarea în considerare şi a saturaţiei, programul prevede şi calculul curentului de excitaţie al fiecărui generator, curent la care se adaugă o componentă care echivalează influenţa saturaţiei asupra calculelor.

Pentru sistemele de excitaţie, programul prevede ecuaţiile detaliate ale acestora (care descriu variaţia în timp a tensiunii de excitaţie) pentru regulatoare cu acţiune continuă sau discontinuă, sau pentru excitaţii statice sau cu maşini rotative.

Funcţia de transfer a regulatorului de viteză (inclusiv a maşinii primare) prevede pentru turbinele cu abur trei constante de timp (corespunzător celor trei poli ai funcţiei) cu ajutorul cărora se pot modela diverse feluri de asemenea regulatoare, sau cinci constante de timp (corespunzător celor trei poli şi două zerouri ale funcţiei), în cazul modelării turbinelor hidraulice.

În cazul modelării turbinelor cu abur în două corpuri, acelaşi program [10] prevede reprezentarea corpului de înaltă presiune (cu regulatorul său de viteză) printr-un set de ecuaţii şi a corpului de joasă presiune (inclusiv regulatorul său de viteză) printr-un alt set de ecuaţii. În fiecare dintre aceste două seturi de ecuaţii se adaugă un factor suplimentar, punînd în evidenţă amortizarea între unităţi, operaţie foarte importantă pentru calculele de stabilitate dinamică la multioscilaţii.

Programul prevede de asemenea executarea automată (pentru circa 200 linii) a unei comparaţii între impedanţa aparentă a releelor de distanţă şi caracteristica lor (circulară) de impedanţă pentru fiecare treaptă de timp de integrare.

Dacă impedanţa aparentă este în interiorul caracteristicii releului, un mesaj special este imprimat la ieşirea CN.

Curbele $\delta = f(t)$, aşa-numitele „swing curves" se pot automat reprezenta grafic de către program, cîte zece pe o diagramă, cu scările respective precizate pe ambele axe.

În cadrul programului s-a prevăzut şi posibilitatea modelării transporturilor în curent continuu pe linii de înaltă tensiune cu cîte două conductoare. În această versiune, programul poate cuprinde pentru partea de transport în curent continuu modelarea a trei linii, inclusiv sistemele lor de reglaj, iar pe partea de curent alternativ reprezentarea a maximum 500 bare, 1000 linii şi 128 generatoare.

6. UTILIZAREA MAŞINILOR ANALOGICE DE CALCUL PENTRU STUDIEREA STABILITĂŢII SISTEMELOR ENERGETICE

Dezvoltarea şi modernizarea construcţiei calculatoarelor analogice (CA) face posibilă utilizarea lor efectivă la analiza stabilităţii statice şi dinamice a sistemelor energetice. Examinarea stabilităţii cu ajutorul CN, prin metoda integrării numerice a ecuaţiilor diferenţiale ale sistemului, prezintă dezavantaje în comparaţie cu examinarea pe maşinile analogice. Aceste dezavantaje se referă în primul rînd la faptul că, în cazul reprezentării detaliate a maşinii sincrone (cu considerarea regulatoarelor de tensiune şi a motoarelor primare), procesele tranzitorii ale generatorului se scriu printr-un sistem cu un număr mare de ecuaţii diferenţiale. Cu cît vor fi mai mici constantele de timp ale sistemului de reglaj, cu atît mai mici vor fi şi intervalele de integrare, ceea ce măreşte durata calculului şi deci scumpeşte cercetarea. În al doilea rînd, tendinţa de a se crea, după posibilităţi, un program de calcul cît mai universal pentru examinarea stabilităţii sistemelor cu CN, şi care să permită să se ia în considerare tipuri diferite de regulatoare, conduce la mărirea şi scumpirea programului şi la mărirea corespunzătoare a volumului de memorie a CN.

La această tendinţă, avantajul metodei analogice constă în aceea că sistemele de reglaj se reprezintă cu ajutorul amplificatoarelor operaţionale obişnuite (integratoare, sumatoare etc.), şi orice modificare a parametrilor sistemului de reglaj poate să se facă relativ simplu şi rapid.

Neajunsurile utilizării metodelor analogice în studiul stabilităţii sistemelor, precum şi numărul limitat al elementelor neliniare şi problema funcţionării stabile a însăşi maşinii analogice limitează în mod corespunzător mărimea sistemului energetic examinat. Astfel, în literatura de specialitate se arată că, cu ajutorul calculatoarelor analogice moderne, se poate studia stabilitatea unui sistem energetic care conţine pînă la şase maşini sincrone.

Una dintre greutăţile care apar la studiul stabilităţii sistemelor energetice cu ajutorul CA este calculul curenţilor reţelei, care în general este complicat, deoarece axele de coordonate ale diferitelor maşini (rigid legate de rotoarele acestora) sînt rotite unele faţă de altele cu un unghi oarecare. O metodă de calcul a curenţilor din reţea care necesită un număr redus de blocuri operaţionale (şi permite deci să se examineze stabilitatea sistemelor energetice care conţin

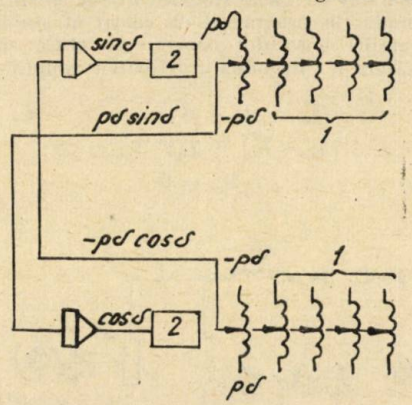


Fig. 12. Schema transformării coordonatelor (pe un calculator analogic) pentru un generator:
± $p\delta$ semnal de intrare; *1* — patru potenţiometre pentru înmulţirea cu sin δ sau cos δ; *2* — servoamplificator.

un număr mare de maşini) este aceea în care tensiunile la bornele maşinilor sînt raportate la un sistem suplimentar de coordonate, sincron şi rotativ. Această transformare se face cu ajutorul schemei arătate în figura 12. Calculul curen-

ţilor prin această metodă se face în concordanţă cu ecuaţia matricială $[I] = [Y] \cdot [V]$, în sistemul de coordonate sincron rotativ, iar rezultatele se traduc în sistemul de coordonate ale maşinii sincrone. Această metodă este mai puţin exactă, dar prin aplicarea ei se poate face examinarea stabilităţii unui sistem energetic, care conţine pînă la şase maşini sincrone, utilizînd un calculator analogic de tip obişnuit.

Examinarea atentă a comportării CA în timpul proceselor de calcul al stabilităţii sistemelor a arătat că în această perioadă pot apărea în calculator oscilaţii proprii de mică amplitudine. Deşi aceste oscilaţii nu împietează în mod obişnuit rezultatele examinării stabilităţii dinamice, ele pot însă să influenţeze sensibil aprecierea stabilităţii statice a sistemului şi să îngreuieze astfel realizarea regimurilor pe maşinile analogice. Cercetarea acestei probleme arată că oscilaţiile de mică amplitudine pot să ,,mascheze'' prezenţa zonei de nestabilitate.

Trebuie arătat, în concluzie, că domeniul posibil de folosire a CA la examinarea stabilităţii sistemelor energetice trebuie să fie determinat pe baza analizei eficacităţii economice a utilizării lor în comparaţie cu CN. Pe baza dezavantajelor (studiate mai înainte) şi a avantajelor calculatoarelor analogice, la examinarea stabilităţii sistemelor energetice, se poate trage concluzia că eficacitatea utilizării CA creşte o dată cu micşorarea numărului de maşini sincrone din sistemul energetic examinat. Cînd numărul generatoarelor din sistem creşte peste zece, avantajele utilizării calculatoarelor numerice asupra celor analogice devin evidente.

7. CALCULE DE STABILITATE EFECTUATE ÎN R.S. ROMÂNIA CU AJUTORUL CALCULATOARELOR ELECTRONICE

În literatura de specialitate din ţară au apărut, începînd din anul 1960, diverse publicaţii care au prezentat metodele de calcul al stabilităţii sistemelor electroenergetice cu ajutorul calculatoarelor electronice şi au fundamentat teoretic unele probleme, care au permis utilizarea ulterioară a acestor calculatoare în abordarea problemelor de stabilitate a sistemului energetic naţional.

Primele calcule de stabilitate cu ajutorul calculatoarelor electronice s-au întocmit în anii 1958—1959, prin efectuarea calculelor necesare analizei nodale a dr. ing. P. Dimo, membru corespondent al Academiei R.S.R., şi obţinerea reprezentărilor grafice respective (imagini nodale). Calculele de stabilitate dinamică la prima oscilaţie s-au întocmit în ipoteza reprezentării simplificate a generatoarelor sistemului printr-o t.e.m. E' constantă în spatele reactanţei tranzitorii x'_d.

În anii 1961—1965, la ISPE—Bucureşti au început să se execute în mod curent calcule de stabilitate dinamică pe calculatorul numeric CIFA 102, programele de calcul fiind întocmite pentru aceeaşi ipoteză simplificată de reprezentare a generatoarelor sistemului, arătată mai sus.

În 1965, o dată cu dotarea M.E.E. şi C.S.H. cu calculatoare mai moderne, s-au întocmit, de către un colectiv din cadrul ISPE, programe îmbunătăţite de calcul al stabilităţii dinamice (în raport cu vechile programe), care au realizat performanţe ridicate în ceea ce priveşte viteza de calcul şi volumul datelor la ieşire.

În sfîrşit, în 1968, ing. S. Ionescu şi matematician M. Staadecker au îmbunătăţit în cadrul unui nou studiu întocmit la ISPE programul anterior de calcul al stabilităţii dinamice, ţinînd seamă de fenomenele tranzitorii din maşinile sincrone şi de efectele regulatoarelor de tensiune şi de viteză ale generatoarelor [9].

În prezent se încearcă la ISPE şi Institutul de energetică al Academiei R.S.R. introducerea în cadrul programelor de calcul a vizionării permanente pe ecran a diagramei standard denumită ,,imagine nodală'' în metoda românească a analizei nodale [2]. Corespondenţa biunivocă între ecuaţiile nodale reduse sau transformate şi geometria schemelor sintetice standardizate (REI) permite obţinerea uşoară a celor două concepte figurative DIMO cu ajutorul CN moderne. Considerînd faptul că în prezent asemenea concepte figurative pot fi obţinute direct pe ecrane, cu ajutorul dispozitivelor periferice ale CN, se pot încă de pe acum anticipa dialoguri ,,om-maşină'' realizate cu ajutorul acestei metode.

Programele de calcul (pentru calculatorul Elliott 4120) al stabilităţii sistemelor existente în biblioteca de programe ISPE, realizate, testate şi puse la dispoziţia proiectanţilor, sînt următoarele:

— Program RESS (stabilitate statică, cu criterii practice, pentru un sistem cu maximum 50 generatoare, 200 noduri şi 600 linii);

— Program RCAS (stabilitate dinamică, ipoteza clasică de reprezentare a generatorului cu E'_d şi x'_d şi pentru P_{mec} = const., realizat pentru un sistem cu maximum 40 generatoare, 80 noduri şi 250 linii);

— Program REDI (regimuri dinamice, inclusiv stabilitatea dinamică, ţinînd seamă de efectele regulatoarelor de tensiune şi de viteză, pentru un sistem cu maximum 50 generatoare, 100 noduri şi 300 linii);

— Program REI (reducerea schemei sistemului la echivalenţi REI, subprogram pentru toate programele de stabilitate dinamică).

Bibliografie

[1] Shakshaft, G. *Digital solution of power system steady state and transient stability.* Proceedings Queen-Mary College Conference 1963, Documentul 5—3.

[2] Dimo, P. *Analiza nodală a sistemelor electroenergetice.* Ed. Acad. R.S.R., Bucureşti, 1968.

[3] Venikov, G. V. şi Stroev, V. A. *Primecenie matematiceskih metodov i sdrestv vtcislitelnoi tehniki v proektirovanii i ekspluatatii energheticeskih sistem.* Izdatelstvo Energhiia, Moskva, 1965, p. 154—184.

[4] Bercovici, M. *Calculul circulaţiei curentilor în reţelele electrice buclate, cu ajutorul maşinilor de calcul numerice* (lucrare prezentată la Consfătuirea asupra maşinilor de calcul, Bucureşti, 1960). Probleme de automatizare, vol. II, 1960, Ed. Acad. R.S.R., p. 57—70.

[5] Kozlowski, A. *Improved programmes for transient stability studies.* Proceedings Queen-Mary College Conference, 1963, Documentul 5—4.

[6] Venikov, V. A., Anisimova, N. D., Dolghinov, A. I. şi Fedorov, D. A. *Autoexcitarea şi autopendularea în sistemele electrice.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1967.

[7] Iordănescu, I., Ionescu, S. şi Staadecker, M. *Algoritm de calcul al stabilităţii dinamice a sistemelor electroenergetice, cu ajutorul maşinilor electronice cifrice.* Energetica *15*, 1967, nr. 4, p. 65—79.

[8] * * * *Utilizarea calculatoarelor electronice cifrice şi analogice în analiza regimurilor şi conducerea sistemului electroenergetic (la analiza condiţiilor de stabilitate dinamică).* Lucrare ISPE, nr. 1073/181, Bucureşti, dec. 1967.

[9] * * * *Utilizarea calculatoarelor electronice cifrice şi analogice în analiza regimurilor şi conducerea sistemului electroenergetic (la analiza condiţiilor de stabilitate dinamică).* Lucrare ISPE, nr. 1073/231, Bucureşti, iunie 1968.

[10] Young, C. C. şi Webler, R. M. *A new stability program for predicting the dynamic performance of electric power systems.* American Power Conference 29-th Annual Meeting, Chicago, april 1967.

[11] Stroev, V. A. şi Sreedharan, R. *Steady-state stability of alternators as affected by voltage regulators.* Proc. IEE, *114*, 1967, nr. 7, p. 939—945.

(Articol intrat în redacţie la 27 septembrie 1968)

—— o ——

TRATAREA APEI ÎN CENTRALELE TERMOELECTRICE

Consfătuirea chimiștilor din sectorul energetic București, 28—30 noiembrie 1968

În cadrul Ministerului Energiei Electrice se ţin anual consfătuiri ale chimiştilor şi inginerilor cu preocupări profesionale legate de specificul problemelor de chimie ale sectorului energetic. Aceste consfătuiri sînt destinate a informa pe participanţi asupra realizărilor pe plan intern şi internaţional în acest domeniu, a problemelor ivite în sectorul nostru şi a modului de rezolvare a lor, a experienţei de exploatare cu agregatele noi, asupra perspectivelor imediate şi de viitor ale evoluţiei tehnice în sectorul energetic şi, în general, ca schimb de experienţă al participanţilor.

Pînă în prezent, consfătuirile au fost axate pe probleme legate de regimul chimic al apei pentru cazane şi al apei de răcire din centralele termoelectrice, domeniu care creează preocupări majore pe plan mondial pentru efectivul de tehnicieni specializaţi din sectorul energetic. Situaţia este determinată de evoluţia tehnică rapidă a echipamentului din centralele termoelectrice şi a metodelor de tratare a apei, precum şi de exigenţele tot mai severe privind regimul chimic al apei pentru cazane şi al apei de răcire. La noi în ţară, problema are un caracter specific complex, întîlnit mai rar în alte părţi, datorită evoluţiei rapide, ascendente a introducerii tehnicii noi, extinderii cu grupuri moderne a centralelor mai vechi, aspectelor legate de furnizarea cuplată de energie electrică şi termică şi, în fine, datorită varietăţii mare a echipamentului instalat în centralele noastre.

Anul acesta, consfătuirea, organizată de D.G.P.T.E.E.— M.E.E. la Bucureşti, a avut tema : „Noul în tehnica tratării apei şi perspectiva aplicării sale la noi", care a fost susţinută de un număr de zece referate şi unele completări, prezentate de referenţi din D.G.P.T.E.E., I.S.P.E., I.R.M.E., Energoreparaţii, ICENERG, ISCIR şi C.C.P.— cazane.

Prezentarea referatelor şi a completărilor, urmată de discuţii, a avut loc în zilele de 28 şi 29 noiembrie 1968, după care a fost organizată, în ziua de 30 noiembrie vizitarea centralei Bucureşti-Sud.

La consfătuire au participat chimiştii secţiilor chimice din principalele centrale termoelectrice şi delegaţi din institutele şi întreprinderile ministerului care au contingenţă cu aceste probleme. De asemenea au mai luat parte numeroşi delegaţi din principalele combinate şi uzine chimice, din institutele de proiectare şi din organizaţiile centrale ale ministerelor coordonatoare ale acestor sectoare industriale.

La această consfătuire s-au prezentat următoarele referate :

— *Criterii tehnico-economice pentru stabilirea regimului apei la cazanele de abur cu parametri medii şi ridicaţi* — de ing. L. Negulescu (ISCIR).

— *Aspecte privind comportarea în exploatare a unor aliaje supuse coroziunii, utilizate în centralele termoelectrice* — de ing. M. Vilan (Energoreparaţii).

— *Comportarea unor bacterii într-o instalaţie de demineralizare şi posibilităţile de combatere a lor* — de ing. L. Blada şi chim. I. Ghelase (IRME).

— *Reactivi complexanţi pentru curăţirea suprafeţelor interioare ale cazanelor* — de ing. G. Neuberger (IRME).

— *Construcţia de cazane de înaltă presiune în R.S.R.* — — de ing. L. Fendrihan (CCP-cazane).

— *Tehnica filtrelor ionice cu pat stratificat* — de ing. L. Stanisavlievici (DGPTEE).

— *Indici de calitate pentru apa de răcire* — de ing. C. Suşman (ISCIR).

— *Asimilarea construcţiei în ţară a filtrelor cu pat mixt* — de ing. C. Fodor (ISPE).

— *Celuloza ca material filtrant în exploatările energetice* — de ing. Al. Turassy şi chim. Fl. Vurtejanu (IRME).

— *Probleme actuale în tratarea apei în centralele EdF* — de chim. E. Condurache (IEC Borzeşti).

Unele dintre referatele prezentate la această consfătuire sînt publicate în numărul de faţă, altele urmînd să apară în numărul următor al revistei, iar restul va fi publicat în revista „Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice".

În scopul de a înlesni informarea de documentare, în continuare este dată o bibliografie privind tratarea apei, cuprinzînd principalele lucrări recente apărute în literatura tehnică mondială. Această listă bibliografică este continuarea aceleia apărute în revista „Energetica" nr. 9, 1968, p. 420—422.

BIBLIOGRAFIE

1967

[1] Bouchard, J. *Îmbunătăţirile recente în folosirea industrială a schimbătorilor de ioni.* Colocviu Degremont, Bucureşti, martie 1966.

[2] * * *ENEL — Italia. Raport anual italian 1966. Probleme chimice în centrale termice. Piacenza, 1967.

[3] Van Ryswyk, W. Schimbătorii de ioni macroreticulari Amberlite — Minoc SAR L, Paris, noiembrie 1967.

[4] Bouchard, J. Regenerarea în contracurent. Degremont, Rueil, 1967.

[5] Kadlec, V. ş. a. Bicarbonatul de sodiu ca regenerant pentru schimbătorii anionici slab bazici. Mitt. VGB, nr. 108, iunie 1967.

[6] Derlot, R. Aparatajul automat şi automatizarea în instalaţiile de tratare a apei. Degremont, Conferinţe tehnice, Bucureşti, martie 1967.

[7] Spillner, F. O instalaţie de demineralizare a condensatului cu prefiltrare magnetică. Mitt. VGB, nr. 108, iunie 1967.

[8] Kneissl, P. Experienţa exploatării cu schimbători anionici macroporoşi, la tratarea apei de adîncime. Mitt. VGB, nr. 110, oct. 1967.

[9] Klump, W. Experienţa exploatării cu o instalaţie de filtrare cu cuarţ şi aluvionare. Mitt. VGB, nr. 110, oct. 1967.

[10] Karas, Fr. Tratarea apei şi aburului în instalaţiile termoenergetice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1967.

[11] Müller, E. Depuneri de silice în turbine datorită micşorării salinităţii, prin pornirea unui grup înaintaş. Energie *19*, nr. 2, 1967.

[12] Freier, R. K. Chimia apei. Energie *19*, nr. 2, 1967.

[13] Tegtmeier, W. Coroziuni şi protecţia împotriva coroziunii. Energie *19*, nr. 7/8, 1967.

[14] Heeren, H. Elaborarea şi comportarea unui procedeu de curăţire pentru condensatoare şi schimbătoare de căldură. Energie *19*, nr. 3, 1967.

[15] Held, H. D. Formare de depuneri pe suprafeţele interioare de încălzire ale cazanului şi în turbinele cu abur, în exploatarea cazanelor cu străbatere. Energie *19*, nr. 9, 1967.

[16] Hessler, R. Generatoare rapide de abur, Energie *19*, nr. 9, 1967.

[17] Schulze, R. Influenţa tratării apei şi a preîncălzirii asupra economicităţii centralelor termice industriale. Energie *19*, nr. 11, 1967.

[18] Klump, W. Dezvoltarea şi stadiul actual al chimiei apei de alimentare din Europa occidentală. Energie *19*, nr. 11, 1967.

[19] Smith, O. A. Un program pentru determinarea coroziunilor de cupru în instalaţiile energetice de presiune înaltă. Combustion *391*, nr. 1—2, 1967.

[20] Kennedy, C. M., Meryers, P. S. şi Crits, G. J. Experienţa exploatării cu paturi mixte, funcţionînd în ciclul amoniu, cu viteze mari de filtrare. Conferinţa a 28-a anuală internaţională a apei, Pittsburgh, dec. 1967.

1968

[1] Neuberger, G., Blada, L., Ghelase, I. şi Ciopec, N. Cercetări privind posibilitatea tratării condensatului impurificat cu alumină. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.

[2] Stanisavlievici, L. Acizi organici din apa de alimentare şi comportarea lor în cazan. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.
[3] Bachelart, A. Regenerarea în contracurent. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.
[4] Kuhne, G. şi Martinola, Fr. Tehnica schimbului de ioni mai poate evolua? A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.
[5] Couderc, R. Tratarea apei de alimentare din centralele termice. Dia Prosim, Vitrys. Seine, 1968.
[6] Baithasar, J. Performanţele şi posibilităţile de aplicare a filtrelor cu schimbători de ioni în pulbere. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.
[7] Vassilion, B. Amestecuri de răşini schimbătoare de ioni pe bază de electroliţi slabi şi tari. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.
[8] Kadlec, V. Dezoxigena rea apei cu ajutorul schimbătorilor de ioni. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968 .
[9] Heitman, H. G. Determinarea oxizilor de fier în suspensie cu metoda filtrării prin membrană. Mitt., VGB, 48, nr. 1, 1968.
[10] Srejber, Z. Automatizarea instalaţiilor de tratare a apei. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.
[11] Neuberger, G., Costiner, Ed., Rozeman, L., Ghelase, I. şi Ciopec, M. Cercetări asupra posibilităţii construirii în R.S.R. a unui fotocolorimetru de laborator pentru a se folosi în sistemul energetic. A IV-a sesiune IRME, Bucureşti, 1968.
[12] Stanisavlievici, L. Coroziunea în circuitele de răcire. Revista „Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice", nr. 1, 1968.
[13] Brandel, A. Controlul chimic la pornirea blocurilor noi de 250 MW. Conferinţa VGB — Apa de alimentare, Essen, oct. 1968.
[14] Bohnsack, G. Depuneri de săruri în turbină chiar la alimentare cu apă total demineralizată. Conferinţa VGB — Apa de alimentare, Essen oct. 1968.
[15] Spillner, F. Chimia şi cinetica fenomenelor la decapare cu acizi conţinînd fluoruri. Conferinţa VGB — Apa de alimentare, Essen, oct. 1968.
[16] Heitmann, H. G. Metode şi evoluţii ale tratării condensatului şi apei de alimentare. Conferinţa VGB — Apa de alimentare, Essen, oct. 1968.
[17] Brunner, R. Procedeul Desal — o metodă prin schimbători de ioni pentru ape brute foarte saline. Conferinţa VGB — Apa de alimentare, Essen, oct. 1968.
[18] Kauczor, W. H. Influenţa temperaturii apei asupra capacităţii instalaţiilor cu schimbători de ioni. Conferinţa VGB — Apa de alimentare, Essen, oct. 1968.
[19] Stanisavlievici, L. Metode noi folosite în tratarea apei de cazane. IDT, Bucureşti, 1968.
[20] Stanisavlievici, L. Probleme actuale ale tratării apei în instalaţiile energetice. Editura Tehnică, Bucureşti (sub tipar).
[21] Bachelart, A. Regenerarea în contracurent a schimbătorilor de ioni; teoria, funcţionarea şi rezultatele obţinute. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.
[22] Prochazka, J. şi Fiala, B. Tratarea condensatului pentru blocuri de presiune înaltă. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.
[23] Vejvancicky, J. Măsurarea hidrogenului din abur şi evaluarea lui. A IV-a Conferinţă naţională cehoslovacă, Praga, oct. 1968.
[24] Crits, G. J. Tratarea condensatului prin pat mixt. Power Engineering, vol. 72, nr. 3, 1968.
[25] * * * Tratarea apei. O.D.P.T.-M.E.E., 1969.

— o —

Tehnica filtrelor ionice cu pat stratificat

Ing. L. Stanisavlievici*)

Cuplarea în schema demineralizării apei a unor filtre ionice cu funcţiuni slabe sau puternice acide sau bazice este o metodă curent aplicată astăzi. Avantajele tehnico-economice, atît în funcţionare cît şi la regenerarea înseriată, pe care le prezintă acest mod de lucru, sînt cunoscute : obţinerea unei calităţi bune a apei cu un consum specific redus de reactivi.

Încărcarea în acelaşi filtru a celor două tipuri de schimbători, în straturi distincte (pat stratificat, strata-bed), este un procedeu de lucru nou, în curs de introducere în practică.

Caracteristicile acestei tehnici sînt :

— schimbătorul cu funcţiuni slabe este aşezat deasupra schimbătorului cu funcţiuni puternice ;

— cei doi schimbători au greutăţi specifice suficient de diferite pentru a fi menţinuţi în straturi separate, dispuse cum a fost indicat mai sus ;

— variaţia volumului schimbătorilor în cursul ciclului activ, fie prin semnul ei, fie prin valoarea ei, contribuie la mărirea tendinţei de separare a răşinilor în zona de contact a lor ;

— regenerarea în sens ascendent este aplicată la unele scheme ;

— capacitatea utilă globală a încărcăturii de schimbători din filtru este mare (prezenţa unui schimbător cu funcţiuni slabe).

Consumul specific de regenerant este redus prin două căi : regenerarea înseriată şi regenerarea în sens ascendent.

Pentru realizarea acesteia din urmă se aplică unul dintre procedeele cunoscute : contrapresiune statică, contrapresiune dinamică sau pat fluidizat parţial (max. 75%, restul compactat pe un drenaj superior).

În cazul apelor cu salinitate unică, dar încărcate cu substanţe organice, tehnica paturilor stratificate permite a se realiza, într-un singur filtru, protecţia schimbătorului anionic puternic bazic ; pentru aceasta se încarcă un schimbător mediu bazic, macroporos, peste răşina puternic bazică de tip convenţional şi se execută regenerarea în sens ascendent.

Aplicarea acestui procedeu poate fi făcută după diferite scheme (fig. 1) :

1. *Decarbonatare şi dedurizare.* Se foloseşte un schimbător carboxilic, în ciclul H, aşezat dea-

*) L. Stanisavlievici este inginer la Centrala industrială de producere a energiei electrice şi termice din M.E.E.

supra unui schimbător sulfonic, în ciclul Na. Rășina slab acidă are o greutate specifică cu 15—30% mai mică decît cea puternic acidă,

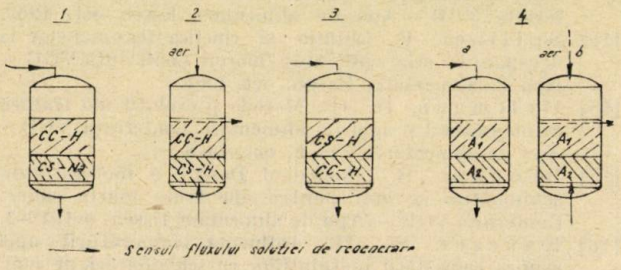


Fig. 1. Schemă pentru filtre cu pat stratificat.

ceea ce asigură separarea lor; umflarea primei, în ciclul de încărcare, are semn pozitiv și este de ordinul 5 la 10%, ceea ce tinde a reduce separarea în zona de contact.

Procedeul este indicat pentru ape cu 50—80% duritate permanentă din duritatea totală.

Capacitatea utilă a schimbătorului carboxilic este funcție de sarcina specifică volumică, de temperatura apei, de nivelul regenerării și de sarcina ionică a apei. În raport cu intensitatea decarbonatării care se dorește a se realiza, variază și durata ciclului activ, adică practic capacitatea utilă disponibilă. În figura 2 este dată diagrama variației capacității utile a rășinii carboxilice în raport cu cantitatea de ioni HCO_3^- care trebuie reținuți, orar, de 1m³ de rășină, la o alcalinitate a efluentului $m = 0{,}15$.

Asemenea curbe — stabilite în raport cu condițiile concrete de funcționare a schimbătorului — permit a determina capacitatea utilă a rășinii carboxilice și, consecutiv, capacitatea utilă disponibilă aflată într-un filtru dat.

Cantitatea de schimbător carboxilic din încărcătură este în raport cu conținutul apei în duritate temporară. Se recomandă totuși ca

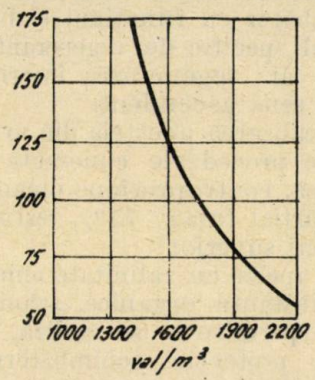


Fig. 2. Capacitatea utilă a rășinii carboxilice, în raport cu sarcina ionică, la $m = 0{,}15$ în efluent.

această valoare să fie limitată la 70% din totalul rășinilor din filtru, pentru a putea asigura și o bună dedurizare a apei. Figura 3 arată, prin curba rezultatelor practice, că acest lucru este posibil, chiar cu ape foarte bicarbonatate, deoarece schimbătorii carboxilici de calitate au o capacitate utilă cu circa 50% mai mare decît aceea a schimbătorilor sulfonici.

Curba stabilită prin încercări de către producător diferă de curba trasată pe baza relațiilor teoretice cunoscute, deoarece în practică condițiile de funcționare determină abateri de la condițiile teoretice (a se vedea cazul 4).

Rășinile se încarcă în filtru în stare regenerată: întîi rășina sulfonică, apoi cea carboxilică; după aceea se execută o afînare.

Regenerarea se execută în sens descendent (în echicurent cu funcționarea); în primul

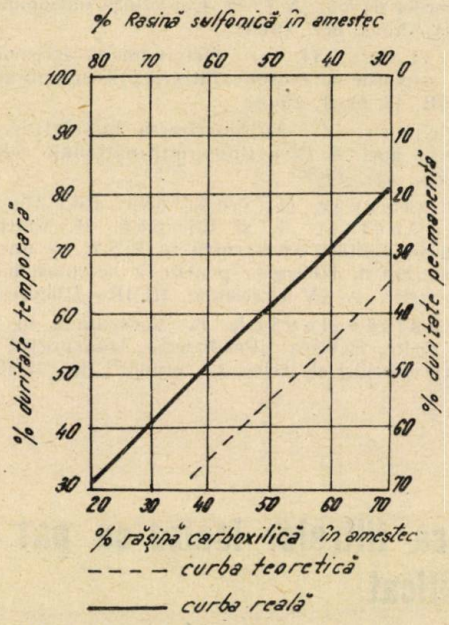


Fig. 3. Procentul de rășină carboxilică în patul stratificat, în raport cu duritatea apei la intrare.

rînd se introduce acid clorhidric de 1—3% concentrație, în cantitate de 105% din cea teoretic necesară, apoi soluție de sare de 8—10% concentrație, în cantitate de 400% din cea teoretică. Cantitățile de regenerant se raportează la capacitatea utilă disponibilă (sau solicitată) pentru exploatare.

După trecerea soluției de acid se efectuează o spălare intermediară, cu 1—2 volume de apă (raportat la întreaga cantitate de schimbători aflată în filtru); spălarea finală, cu apă brută limpezită, se execută în modul obișnuit, adică cu 5—7 volume de apă.

Acest procedeu prezintă și avantajul de a menține constantă valoarea alcalinității efluentului, deoarece ea nu este modificată de către schimbătorul Na-cationic.

2. *Decarbonatare și decationare.* Se folosesc doi schimbători cationici în ciclul H: unul sulfonic, deasupra căruia este așezat unul carboxilic (fig. 1, 2). Regenerarea se execută în

sens ascendent (în contracurent cu funcționarea); pentru aceasta, se aplică unul dintre procedeele amintite mai înainte. Acidul este folosit 100%.

Schimbătorul carboxilic neputînd primi, pentru regenerare, decît o soluție diluată de acid, de exemplu max. 3% HCl sau 1% H_2SO_4, se va calcula cantitatea de regenerant și diluția lui, similar ca la regenerarea înseriată a două filtre H-cationice (sulfonice-carboxilice), separate.

3. *O variantă a cazului precedent* o constituie schema din fig. 1, *3*, care realizează de asemenea o decarbonatare și o decationare, dar dispoziția schimbătorilor este inversă decît în cazul normal. Din motive de simplificare constructivă a filtrului, regenerarea se face în sens descendent, dar în contracurent cu funcționarea.

Cei doi schimbători se pot regenera înseriat fără dificultate, realizîndu-se astfel reducerea consumului specific de regenerant. Funcționarea în sens ascendent impune menținerea cel puțin parțială a unui pat compact; ea permite ca după terminarea ciclului activ să se treacă direct la regenerare, suprimîndu-se faza afînării.

Schimbătorii trebuie aleși corespunzători, în ce privește greutatea lor specifică, care trebuie să fie diferită, și a valorii „umflării", care trebuie să fie cît mai mică pentru a nu contribui la decompactarea completă a patului în ciclul de funcționare și amestecarea rășinilor.

Din același motiv este indicată o temperatură de lucru mai ridicată, ceea ce permite sarcini volumice specifice, în funcționare, mai mari, fără a decompacta patul de rășini. În această privință, schimbătorul carboxilic este acela care limitează mărirea temperaturii.

4. *Eliminarea anionilor.* Se folosește o rășină mediu bazică macroreticulară și o rășină puternic bazică, convențională, de tipul I (fig. 1, *4*). Rășina mediu bazică, așezată deasupra, are în funcționare un grad de „umflare" destul de marcat (+ 25...+35%); gradul de „umflare" a rășinii puternic bazice este și el mare, dar de semn contrar (—25%); acest fapt contribuie la menținerea separată a paturilor.

În cazul apelor încărcate cu substanțe organice, cele două rășini anionice sînt de tip macroporos, ceea ce asigură o eliminare intensă a acestor impurități. În tabelul de mai jos sînt date ca exemplu rezultatele astfel obținute, exprimate în consum de permanganat (CP). Aceste valori nu pot fi generalizate, deoarece natura substanțelor organice, în cazul dat, nu este cunoscută; ea are totuși o influență determinantă în procesul de reținere de către rășinile macroporoase.

Influent CP mg/l	Reducere CP, în %	
	în zone de separație a rășinilor	în efluent
5,5 — 6,2	40 — 60	64 — 65

Regenerarea se poate executa în sens descendent (în echicurent cu funcționarea) sau în sens ascendent (în contracurent).

În primul caz (fig. 1, *4*, *a*), în vederea regenerării, rășinile se amestecă, efectuînd o afînare preliminară; prin aceasta se elimină și impuritățile insolubile din apă, reținute de către schimbători.

După regenerare urmează o spălare scurtă, pînă la $pH = 9—10$, prin care se dislocuiește, cu apă dedurizată, cea mai mare parte din excesul de regenerant. Temperatura apei de spălare este de 40—50° C; rășinile rămîn amestecate.

O a doua afînare clasează rășinile; viteza apei realizează o expansiune a stratului de 100%; durata este de 5—10 minute. Rășina mediu bazică (greutate specifică circa 0,6) se așază sus, cea puternic bazică (greutate specifică 0,67—0,75), jos, ambele fiind clasate după granulație.

Operația se termină cu o a doua spălare, cu apă demineralizată, la temperatura ambiantă, pînă la obținerea parametrilor de calitate ceruți efluentului.

Cantitățile de rășină mediu bazică din patul stratificat, în raport cu conținutul apei în anionii acizilor tari, sînt date de diagramele din

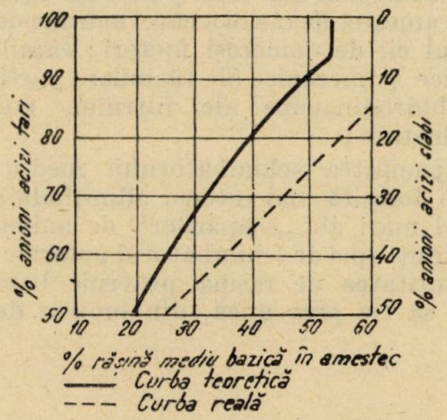


Fig. 4. Procentul de rășină mediu bazică în patul stratificat, în raport cu caracterul anionilor din apă, la intrare.

figura 4. Curba valorilor teoretice a fost stabilită în modul următor, valabil pentru orice tip de schimbător:

Fie v_1 — ionii din apă reținuți de schimbătorul cu funcțiuni slabe, val/m³ apă;

v_2 — ionii din apă reținuți de schimbătorul cu funcțiuni puternice, val/m³ apă;

Q — debitul orar de apă, m³/h;

H — ciclul activ al filtrului, ore;

c_1 — capacitatea utilă volumică a schimbătorului cu funcţiuni slabe, val/m³ răşină;

c_2 — capacitatea utilă volumică a schimbătorului cu funcţiuni puternice, val/m³ răşină;

V_1 — volumul schimbătorului cu funcţiuni slabe, m³;

V_2 — volumul schimbătorului cu funcţiuni puternice, m³.

Teoretic, volumele respective de încărcat în filtru vor fi:

$$V_1 = \frac{Q \cdot H \cdot v_1}{c_1},$$

$$V_2 = \frac{Q \cdot H \cdot v_2}{c_2}.$$

În procente, faţă de încărcătura totală din filtru:

— Schimbătorul cu funcţiuni slabe:

$$\frac{100\ V_1}{V_1 + V_2},$$

— Schimbătorul cu funcţiuni puternice:

$$\frac{100\ V_2}{V_1 + V_2}.$$

Curba valorilor teoretice diferă de aceea a valorilor găsite prin încercări sistematice, deoarece:

— stratificarea nu este perfectă, apărînd o zonă de amestec de răşini a cărei mărime depinde, la rîndul ei, de numeroşi factori: caracteristicile fizice şi mecanice ale răşinilor, particularităţile hidrodinamice ale filtrului, condiţiile de exploatare;

— capacitatea schimbătorului mediu bazic poate fi folosită mai intens, admiţîndu-se valori mai mari ale „scăpărilor" de anioni, care sînt reţinuţi apoi de schimbătorul puternic bazic;

— cantitatea de răşină puternic bazică nu trebuie să fie prea mică, din motive de siguranţă a exploatării, spre a putea stăpîni fenomenul „scăpărilor" de silice.

Zona de amestec fiind variabilă, nu se poate, apriori, „echilibra" patul stratificat; aceasta este un dezavantaj faţă de filtrele convenţionale. Raportul volumic optim al celor doi schimbători trebuie stabilit de la caz la caz. Calculul ar putea indica, de exemplu 80% răşină mediu bazică, dar încercările practice au arătat că trebuie asigurat un procent de minimum 50% răşină puternic bazică.

Spre a obţine o capacitate utilă globală a patului stratificat de circa 1000 val/m³, regenerarea cu NaOH se execută cu un nivel de 125—160% din cel teoretic necesar.

În cazul regenerării în sens ascendent, în contracurent cu funcţionarea (fig. 1, *4*, *b*), se folosesc filtre de construcţie specială, care permit menţinerea patului de răşini compactat. Se combină astfel avantajul patului stratificat cu acela al regenerării în contracurent. Răşina puternic bazică vine în contact, la regenerare, cu leşia proaspătă, straturile inferioare ale ei, care asigură reducerea intensă a „scăpărilor", fiind regenerate complet.

Acest mod de lucru elimină faza de afînare, deoarece soluţia de regenerant elimină totodată impurităţile aglomerate în patul stratificat şi casează granulometric răşinile.

Eficienţa regenerării este aceeaşi ca la procedeul precedent.

Bibliografie

[1] Van Ryswyk, W. *Les résines échangeuses d'ions macroreticulaires Amberlite — Minoc.* SARL, Paris 1967.

[2] *** Lewatit. Merkblatt 501—2, Leverkusen, 1968.

[3] Limbach, F., Martinola, F. *Wird sich die Gegenstromregeneration durchsetzen?* VGB — Speisewassertagung, Essen, 1967.

[4] *** ENEL. *Raporto annuale italiano 1966 — UNIPEDE*, Sottocomitato della Chimica delle Centrali termiche, Piacenza, 1967.

[5] *Minoc.* Merkblatt, Paris, 1966.

[6] *Rohm and Haas.* Technical Bulletin EX—JE—17, *Stratified beds of anion exchange resins.* Philadelphia, 1967.

Criterii tehnico-economice în stabilirea regimului apei la cazanele de abur cu parametri medii și înalți

Ing. L. Negulescu*)

Evoluția în concepția constructiv-funcțională a cazanelor de abur, cu care se dotează noile centrale, este dominată de considerente tehnico-economice, în scopul reducerii consumului de metal în construcția acestora și al combustibilului în exploatare.

Ambele aceste sensuri evolutive, concretizate în tone metal/tone abur și tone combustibil/tone abur, au condus la complicații deosebite pentru regimul chimic al apei.

Sensibilitatea mereu crescîndă a cazanelor moderne față de regimul apei impune respectarea cu strictețe a prescripțiilor tehnice, în scopul unei exploatări sigure și de lungă durată.

Pe lîngă funcționarea sigură a agregatului generator de abur, turbinele de presiune înaltă cer un abur de puritate avansată, condiție care nu poate fi satisfăcută decît printr-un ansamblu de măsuri de ordin chimic în circuitul apă de alimentare—abur—condensat.

O greutate în plus apare în cazul centralelor de termoficare, echipate cu cazane cu parametri înalți, la care sînt necesare adaosuri mari de apă pentru completarea pierderilor de condensat și la care, aproape în toate cazurile, se impune tratarea condensatului recuperat din procesele tehnologice.

Pe lîngă asigurarea unui complex de tehnologii de tratare a apei și a unor măsuri specifice, în cea mai mare parte recent puse la punct, se impune o dotare corespunzătoare cu aparatură de control, care să satisfacă precizia necesară și laboratoare prevăzute cu personal calificat.

Criterii tehnice în stabilirea regimului corect al apei

Parametri constructivi-funcționali determinanți. Regimul chimic al apei cuprinde, pe lîngă menținerea unor indici calitativi ai apei în cazan, respectiv în zona de generare a aburului, pe baza unui echilibru în circuitul apă-abur, și totalitatea măsurilor pentru prevenirea coroziunilor, a depunerilor în întreg circuitul apă-abur-condensat, precum și menținerea purității aburului.

Pentru stabilirea indicilor de calitate ai apei din cazan sînt determinanți următorii parametri funcțional-constructivi:

— presiune, temperatură;

— raportul volum de apă : suprafață de evaporare;

— raportul debit de abur : suprafață de evaporare;

— încărcarea termică specifică;

— modul de circulație a apei.

Influența acestor factori a fost pusă în evidență de o serie de lucrări și concretizată în diferite prescripții și recomandări și în diverse lucrări de specialitate.

În cele ce urmează se va prezenta interdependența acestor factori și calitatea apei de alimentare și din cazan.

Factorul determinant în stabilirea regimului apei este constituit de modul și mărimea transferului de căldură prin peretele țevii. Deoarece rezistența unui metal este invers proporțională cu creșterea temperaturii, limita temperaturii pentru peretele țevii de cazan este determinată de temperatura mediului interior și de rezistența termică la o anumită încărcare specifică termică a suprafeței. Dacă peretele interior este perfect curat, temperatura suprafeței interioare a unei țevi încălzite exterior se situează la o valoare superioară temperaturii mediului interior, egală cu raportul între încărcarea termică specifică și coeficientul de transmitere al căldurii de la perete către apă, respectiv abur. La rîndul său, temperatura peretelui exterior se situează superior temperaturii peretelui interior, cu o diferență egală cu raportul dintre produsul între încărcarea termică specifică și conductibilitatea termică a metalului peretelui supra grosimea peretelui.

Dacă pe peretele interior al țevii există o oarecare depunere, ca urmare a unei ape necorespunzătoare în cazan, temperatura interioară a peretelui de transfer termic se ridică în funcție de rezistența termică a acestui strat; uneori valorile depășesc valorile-limită de rezistență a metalului, ajungîndu-se la spargerea țevii.

Acesta a constituit, ani de-a rîndul, impedimentul pentru adoptarea de către constructori a unor sarcini termice prea mari ale suprafețelor de încălzire în concepția funcțională a cazanelor.

Evitarea neajunsurilor cauzate de depuneri a condus la concepții funcționale tranzitorii cu mutarea solicitărilor termice maxime din zona de vaporizare în zona de supraîncălzire și transformînd aburul supraîncălzit în agent termic în interiorul cazanului (cazanul Löffler).

O altă soluționare, ivită după apariția procedeelor de tratare prin precipitare chimică (var-sodă), a fost concretizată în cazanele cu țevi drepte, cu camere secționale ușor de curățat (cazanul Babcock Wilcox), iar primul cazan cu circulație forțată La Mont a fost posibil de realizat numai după cunoașterea legării durității reziduale cu fosfat trisodic.

*) Ing. Lucian Negulescu este șeful laboratorului chimic din ISCIR-București.

Rămăsese nerezolvată problema silicei solubile cu care se impurifica aburul şi provoca depuneri pe paletajul turbinelor.

După descoperirea procedeelor capabile să furnizeze o apă cu salinitate foarte redusă, a fost posibilă mutarea din nou a vaporizării în zona solicitărilor termice maxime, apărînd cazanele cu străbatere.

Încărcarea termică este limitată însă şi de faptul că valoarea coeficientului α de transmitere a căldurii scade din nou peste 100°C.

În orice caz, dacă se ia o valoare medie a lui α de 20.10^3 kcal/m².h°C şi dacă se admite că suprafeţele interioare sînt curate, diferenţa de temperatură între perete şi apă este de numai 5°C la o încărcare termică de 10^5 kcal/m²h sau de 20°C pentru 4.10^5 kcal/m².h. Cînd încărcarea termică depăşeşte anumite limite, vaporizarea este spontană, apare un strat de abur şi valoarea lui α scade vertiginos, diferenţa de temperatură perete-apă, respectiv abur, mărindu-se considerabil.

Aceeaşi acţiune de rezistenţă termică o pot avea depunerile rezultate din separarea sărurilor solubile. Pentru eliminarea acestei deficienţe s-a mers, la un moment dat, pe linia strangulării apei saline, ajungîndu-se la vaporizarea în trepte, dar fără a se ţine seamă de ordinul de mărime al diferenţei de încărcare termică a fascicolului alimentat cu apă salină faţă de cel alimentat cu apă curată.

Fenomenul de dispariţie a sărurilor din soluţie, în special a fosfatului, „hide-out", provoacă comportarea acestora în mod similar cu al pietrei de cazan.

Cercetări recente au demonstrat că fenomenul de hide-out nu este posibil pe suprafeţe curate ale cazanelor, chiar la sarcini termice foarte ridicate peste 40.10^5 kcal/m².h, dacă nu există depuneri de oxizi de fier. În structura poroasă a acestor depuneri pot exista concentrări de $10^4 \ldots 10^5$ ale sărurilor din tambur, care în cazul hidroxidului de sodiu conduc la coroziune caustică. Cu aceleaşi concentraţii, în cazul unor suprafeţe curate, nu au fost semnalate deficienţe.

Deci materiile solide dizolvate în apa din cazan pot :

— să se concentreze pentru a atinge „un echilibru fără fierbere" ;

— să depăşească limita lor de solubilitate şi să precipite. Acest proces încetează cînd sarea cristalizată constituie un calorifug destul de bun, între suprafeţele încălzite şi apă ;

— să fie antrenate şi rediluate de apa din cazan, în circulaţie, înainte ca fenomenele precedente să se producă.

Dată fiind evoluţia sistemelor de tratare, respectiv obţinerea unei ape practic lipsită de săruri, problema depunerilor a devenit mai puţin importantă, rămînînd problema oxizilor metalici şi în special a celor de fier, ca efecte ale coroziunii în circuitul termic al cazanului.

Oxizii de fier, formaţi în circuitul termic în amonte de cazan, migrează în tot ciclul apă-abur-condensat, depunerile acestora stabilindu-se parţial în zonele cele mai solicitate termic ale sistemului fierbător.

Locul şi modul de depunere depind de mai mulţi factori : temperatura, *p*H-ul şi viteza apei, sarcina termică specifică. Aceste depuneri nu au nimic comun cu straturile protectoare de magnetită, prezentînd o puternică rezistenţă termică ; la o grosime numai de 0,2 mm, λ tinde către 1 şi $\Delta t = 40°$, la cei doi pereţi ai ţevii.

O influenţă deosebită o prezintă parametrul referitor la raportul între debitul de abur şi suprafaţa de separare a celor două faze. Cazanele care au în construcţia lor un tambur au o suprafaţă de separare marcată de suprafaţa oglinzii apei în tambur, corespunzătoare nivelului mediu. Această suprafaţă, în evoluţia constructivă a cazanelor, a scăzut ; astfel, raportul t abur/h :m² era în 1940 egal cu 1, ca în 1964 pentru acelaşi tip de cazan să devină 3,3.

Asupra fenomenului de antrenare în tambur s-au efectuat numeroase studii şi cercetări, elaborîndu-se formule şi diagrame. În orice caz, construcţia de cazane trebuie să se refere şi la reducerea tendinţei de spumegare a apei în tambur, cum ar fi : modul liniştit de introducere a apei de alimentare şi a emulsiei apă-abur în tambur.

Influenţa esenţială asupra antrenării o are eterogenitatea distribuţiei vitezelor de trecere a aburului prin oglinda apei în puncte foarte apropiate, 0,01—0,03 m/s, concentraţia sărurilor antrenate de la 10^{-4}—10^{-3} mol/kg.

Se observă că în general concentraţiile sărurilor total solubile cresc în apa din cazan, în timp ce ale celor cu solubilitate redusă (săruri de fier şi cupru) rămîn constante, fapt care conduce la concluzia că antrenarea acestora din urmă, chiar în formă de coloizi, este importantă.

Fenomenele din interiorul cazanului. Pe lîngă influenţele constructive şi de regim de exploatare a cazanelor de abur, în acestea se petrec o serie de fenomene independente de parametrii constructivi-funcţionali, cauzate de comportarea diferită a componenţilor apei din cazan. După modul de comportare, aceşti componenţi se pot clasifica în : ficşi total solubili, ficşi parţiali solubili, total volatili şi parţial volatili.

Din prima categorie, o comportare deosebită o au compuşii derivaţi din bioxidul de carbon, care, pe lîngă descompunere termică şi hidroliză, afectează întreg circuitul apă-abur, transmiţînd un caracter agresiv condensatului.

Deosebit de importantă, pentru o funcționare sigură a cazanelor și a turbinelor cu abur, este comportarea compușilor parțial volatili. Aceștia, datorită tensiunii lor de vapori, se repartizează în raporturi dependente de presiune în cele două faze : apă și abur. Reprezentanții primordiali ai acestei categorii sînt silicea și, în ultima vreme, aluminiul.

Cercetările au stabilit că în condiții egale de presiune și *p*H în apa din cazan, antrenarea silicei este strict proporțională cu concentrația silicei în apa din cazan și că, pe lîngă presiune, este funcție și de densitatea aburului.

Depunerile pe paletajul turbinelor devin mai periculoase cînd, pe lîngă silice, se mai găsesc în abur și urme de oxizi metalici care se combină cu aceasta.

Față de considerentele expuse mai sus, se pot fixa criteriile, respectiv valorile optime pentru diverșii indici ai unui regim chimic corespunzător al apei.

Criteriile care stau la baza stabilirii valorilor optime pentru indicii de calitate ai apei de alimentare, apei din cazan și aburului constituie un complex avînd drept scop funcționarea sigură și rațională a cazanelor.

Pentru funcționarea sigură rezultă că sînt absolut necesare :

—menținerea unor suprafețe interioare curate ;

— menținerea pe suprafețele interioare a unui strat protector și evitarea oricărui proces de coroziune ;

— menținerea gradului de puritate al aburului produs.

Economicitatea regimului corect al apei la cazanele de abur se reflectă în alegerea unei scheme judicioase pentru instalația de tratare a apei, obținerea apei de alimentare la un preț cît mai scăzut și practicarea unui cuantum de purje foarte redus.

Prescrierea regimului apei se face diferit în diversele țări, prin : instrucțiuni tehnice, standarde, recomandări ale unor asociații, recomandări ale constructorului sau ale furnizorului cazanelor.

În toate acestea se făcea o clasificare a cazanelor ținînd seamă de principiul funcțional și presiunea de regim. Aceste două puncte de referință nu au mai satisfăcut pe deplin, deoarece, chiar la cazanele de joasă și medie presiune, adoptarea de valori ridicate pentru vaporizarea specifică și a diametrelor mici pentru țevi a pus noi probleme pentru apă. În acest fel, regimul apei la cazane trebuie tratat unitar, independent deci de presiunea de regim, el asumînd o complexitate mereu crescîndă nu numai pentru alegerea rațională a limitelor diferiților indici, dar și pentru punerea la punct a unor metode delicate de control.

Această stare de fapt justifică tendința actuală de a reduce pe cît posibil indicațiile numerice ale valorilor-limită, care trebuie menținute în funcționarea instalației, substituindu-le sau cel puțin completîndu-le cu considerații sau date care pot orienta către soluția optimă adaptabilă tipului și condițiilor particulare de funcționare a acelei instalații.

În cele ce urmează se vor face unele scurte comentarii cu privire la anumiți indici determinanți ai regimului chimic.

Oxigenul — agent al coroziunii — a fost normat de diversele prescripții la limite determinate de posibilitățile tehnice ale degazării, valori legate totodată și de sensibilitatea metodelor de analiză.

În esență, se consideră că conținutul de oxigen în apa de alimentare să fie limitat după cum urmează :

— pentru cazanele ignitubulare cu volum mare de apă și sarcină termică specifică mică, sub formă de temperatură minim admisă (70...90°C) ;

— pentru cazanele ignitubulare cu sarcină termică sporită (cu trei drumuri), cazanele cu țevi de apă, neecranate, ca oxigen dizolvat, maximum 0,1 ppm ;

— pentru cazane cu presiuni peste 40 kgf/cm² ca exces de adaos volatil (hidrazină etc.).

Cuprul a provocat în ultima vreme grave avarieri ale cazanelor cu parametri ridicați ; s-a conchis că normele, la timpul lor satisfăcătoare, trebuie schimbate și completate :

— Conținutul de cupru în abur nu trebuie să depășească 3 ppb ;

— Pentru apa de alimentare a cazanelor cu străbatere forțată, conținutul maxim 3 ppb, iar pentru cele cu circulație naturală, 5 ppb.

În legătură cu acest element sînt necesare unele prevederi, dintre care mai importante sînt :

— preîncălzitoarele să nu fie confecționate din țevi de cupru sau aliaje de cupru ;

— la porniri, condensatul cu conținut de cupru trebuie supus unei demineralizări.

Cu privire la *fier*, limitarea anterioară de maximum 30 ppb este satisfăcătoare ; ceea ce trebuie rezolvat însă este introducerea unei metode de control adecvate, dată fiind prezența sub diferite forme a fierului (ionică, moleculară, coloidală, suspensii).

Pentru evitarea depășirii acestui indice trebuie luate măsuri constructive, cum ar fi la centralele cu regim de opriri și porniri frecvente : preîncălzitoarele să fie prevăzute cu țevi din oțel aliat 16—18 %Cr. De asemenea, în centrale de acest fel în ciclul de finisare al apei de alimentare este necesară amplasarea de filtre aluvionare, dat fiind că particulele de fier au în proporție de 80—90 % mărimi peste 0,001 mm.

Substanțele organice, înglobate în consumul de permanganat, nu pot fi normate valoric ;

o normare raţională trebuie bazată pe efectele asupra procesului de generare a aburului, în special conferirea caracterului acid aburului generat, ceea ce presupune cercetări anterioare.

Ceilalţi componenţi ai apei de alimentare, ca : duritate, bioxid de carbon, cloruri etc., nu prezintă interes, eliminarea lor fiind integral asigurată de metodele moderne de tratare.

Pentru apa din cazan rămîn controversate valorile privitoare la alcalinitate şi regimul de fosfat.

Pentru stabilirea unei valori optime a *alcalinităţii* apei din cazan este nevoie de cunoaşterea stării suprafeţei interioare a suprafeţelor de încălzire.

În cazul unor suprafeţe interioare curate, alcalinitatea poate fi redusă la valori minimale, care să asigure un *p*H minim de evitare a coroziunii.

La cazanele în funcţiune, la care suprafeţele de încălzire prezintă la interior depuneri poroase de oxizi se va ţine seamă de posibilitatea concentrării alcalinităţii fixe (din alcalii solide) la valori foarte importante, avînd drept urmare coroziuni caustice. Pe de altă parte, trebuie considerat conţinutul apei în cloruri, care pot naşte o hidroliză clorhidrică, ce nu poate fi combătută decît numai de o alcalinitate fixă.

Cu privire la regimul de *fosfatare*, el trebuie înţeles atît sub aspectul calităţii apei de alimentare, respectiv al conţinutului în ioni ai durităţii şi în ioni ai metalelor grele, cît şi al stării suprafeţelor interioare.

În acest fel se poate ajunge la regimuri : afosfatice, cu fosfatare redusă sau foarte redusă.

Concluzii

Analizînd rezultatele unor experienţe din exploatare şi consideraţiile teoretice din literatura de specialitate, se ajunge la concluzia că prescripţiile regimului apei au, în primul rînd, importanţa lor ca premisă în concepţia cazanelor şi proiectării instalaţiilor de tratare. Cît priveşte exploatarea, ele trebuie să fie suficient de elastice, dar în acelaşi timp complexe, pentru a putea fi aplicate optim în cazurile individuale.

—— o ——

Recenzii

BACHL, H. **Economia energetică.** Vol. I. Tehnica în cadrul economiei. Technischer Verlag Resch K G, Gräfeling/München, 1967, 172 p. 100 fig., 30 tabele

Lucrarea reprezintă sinteza îndelungatei experienţe din industrie şi din învăţămîntul tehnic superior a autorului, în prezent director al uzinelor comunale ale oraşului München şi profesor temporar la Politehnica din acest oraş. Lucrarea se bazează pe o serie de prelegeri despre economia energetică, ţinute în 1966/1967 la Politehnica din München, şi integrează corespunzător preocupările şi concepţia energetică modernă a autorului, aplicată în mare parte în cadrul instalaţiilor energetice ale oraşului München.

Autorul îşi propune să trateze în mod sintetic, dar cuprinzător, domeniul economiei energeticii, divizînd materialul în două volume. Volumul apărut constituie prima parte a lucrării şi cuprinde analiza diferitelor procese care fac obiectul economiei energeticii. În volumul al doilea, legile energeticii vor fi aplicate direct la procesele economice. Aşa cum arată autorul însuşi, cartea este menită să prezinte stadiul energeticii în cadrul tehnicii şi economiei anului 1966. S-a pus mai puţin accentul pe o tratare care să epuizeze detaliile şi să folosească material statistic amplu ; s-a încercat, în schimb, determinarea de tendinţe şi de legături între diferitele domenii ale energeticii, care adesea nu sînt puse în evidenţă, din cauza specializării din ce în ce mai adînci şi mai rapide în acest domeniu.

Energia există în cele mai diverse forme şi se consumă sub cele mai diverse forme, iar economia energeticii tratează întregul domeniu cuprins între aceste extreme. În dorinţa de sintetizare, autorul reprezintă toate procesele de transformare sub forma unor cicluri, simbolizate de cercuri. Prin aceasta se pot distinge deosebiri şi asemănări, şi un domeniu foarte vast şi variat dobîndeşte, prin simplificare şi schematizare, o ordine care poate crea baza unor raţionamente fundamentale.

Primele trei capitole tratează bazele economiei energeticii, şi anume : noţiuni şi definiţii, desfăşurarea proceselor de transformare a energiei, bilanţuri de energie şi bilanţuri valorice. În cele nouă capitole care urmează se expun toate tipurile de transformări de energie : transformarea energiei mecanice în energie electrică, transformarea energiei termice în energie mecanică, lanţul de transformare energie chimică-termică-mecanică-electrică, transformarea energiei electrice şi mecanice în energie termică, folosirea energiei mecanice, termice şi electrice pentru procese tehnologice şi chimice, transformarea energiei chimice în energie termică, încălzirea şi valorificarea energiei reziduale din procese de termoficare, transformarea energiei termice şi electrice în energie radiantă, transformarea energiei nucleare în energie termică şi electrică. Ultimele două capitole sînt dedicate distribuţiei şi acumulării energiei, precum şi măsurării şi decontării energiei. Într-o anexă sînt expuse propuneri ale autorului privind uniformizarea noţiunilor fundamentale ale fizicii şi legături între anumite constante fizice, care se referă la materia tratată.

Dintre capitolele tratînd transformările energiei sînt unele care merită o atenţie deosebită.

Astfel, transformarea energiei mecanice în energie electrică cuprinde referiri la valorificarea tehnică a resurselor de energie eoliană şi energie hidraulică. Energia eoliană este tratată sumar, corespunzător rolului energetic pe care îl are ; în schimb, energia hidraulică este examinată atît sub forma utilizării ei în centrale pe firul apei, cît şi în centrale cu acumulare şi acumulare cu pompare. Pentru cele trei feluri de utilizare a energiei hidraulice, se determină şi cheltuielile de investiţii şi de exploatare.

În capitolul tratînd lanţul de transformare energie chimică — termică — mecanică — electrică, se dezvoltă bazele centralelor termoelectrice moderne, insistîndu-se asupra indicilor specifici,

problemelor de amplasare şi cheltuielilor de exploatare a acestor centrale.

Transformarea energiei chimice în energie termică dă o privire de ansamblu asupra problemei resurselor şi valorificării combustibililor energetici şi examinează procedeele de înnobilare a combustibililor solizi.

În capitolul referitor la încălzire şi la valorificarea energiei combustibilului prin procese de termoficare, autorul, plecînd de la necesităţile de căldură pentru încălzire, stabileşte avantajele valorificării căldurii livrate dintr-un ciclu de termoficare, procedeu care cîştigă din ce în ce mai mult teren, mai ales în ţările unde condiţiile climatice impun consumuri mari de căldură pentru încălzire şi unde economia de combustibil constituie un element important al energeticii. Tot în acest capitol sînt prezentate cicluri principiale ale centralelor de termoficare, atît cu turbine cu abur, cît şi cu turbine cu gaze, făcîndu-se o comparaţie între aceste două tipuri fundamentale de centrale de termoficare.

În fine, în capitolul transformarea energiei nucleare în căldură şi în energie electrică, sînt expuse problemele energetice fundamentale ale valorificării sursei noi de energie, energia nucleară, care a condus la o dezvoltare tehnologică explozivă în ultimele două decenii şi de care se leagă atîtea speranţe de completare şi echilibrare în viitor a balanţelor energetice ale lumii. În mod sugestiv, reactorul nuclear este comparat cu un cazan de abur, şi reactorul rapid reproducător, cu o pompă de căldură.

Lucrarea nu îşi propune să epuizeze domeniul atît de vast al economiei energeticii şi nici să dea reţete pentru cazuri concrete şi probleme zilnice pe care le pune valorificarea energiei în diversele ramuri ale economiei. Ea reuşeşte însă să dea o excelentă privire sintetică de ansamblu şi deschide căi de gîndire noi, uneori cu reprezentări neaşteptate, dar totdeauna sugestive şi adesea originale.

Prof. ing. **Ioan D. Stăneeseu** şi ing. **A. Mişu**

—— o ——

Informaţii tehnice

În U.R.S.S. a luat o mare dezvoltare programul de construcţie de CNE, iar în 1980 se prevede a fi instalată o putere de cîteva zeci de milioane de kW.Cele mai dezvoltate centrale nucleroelectrice sînt cele echipate cu reactoare cu apă sub presiune cu neutroni termici.

Filiera de reactoare (VVER : apă-apă) a început practic cu grupul de 210 MWe de la Novo-Voronej. Experienţa acumulată în construcţia şi exploatarea acestui grup, care a permis posibilitatea creşterii puterii de la 210 MWe la 240 MWe şi terminarea construcţiei grupului nr. 2 de 365 MWe, au făcut posibilă începerea construirii unei a treia tranşe (tot la Novo-Voronej), ce constă din două reactoare a 440 MWe fiecare. Astfel de centrale, care comportă două reactoare jumelate a 440 MWe fiecare, vor fi construite atît în U.R.S.S. (peninsula Kola şi în Armenia) cît şi în R.P. Bulgaria şi R. P. Ungară.

Particularităţile principale ale acestor centrale constau în următoarele :

— compactizarea circuitului primar al reactorului, care conduce la o mărire a securităţii în exploatare ;

— lipsa fierberii în zona activă dă posibilitatea folosirii reglajului chimic pe bază de soluţie de bor, fapt care simplifică sistemul mecanic de reglare ;

— folosirea uraniului îmbogăţit conduce la grade mari de ardere (în MWzi/tU) ceea ce permite o mărire continuă a puterii unitare a reactorului ;

— structura internă a zonei active nu cuprinde o mare diversificare de materiale structurale ca la alte tipuri de reactoare ;

— folosirea aburului saturat la grupurile turbogeneratoare ;

— compactizarea reactorului conduce la realizarea de vase de presiune transportabile (pînă la puteri de circa 1000 MWe) ;

— programarea reîncărcărilor parţiale (care se face cu reactorul oprit) conduce la o uniformizare a fluxului de neutroni şi de transmisie de căldură.

Centralele nuclearoelectrice VVER sînt într-o perfecţionare continuă, realizîndu-se deja proiecte pentru centrale bloc reactor-turbogenerator-transformator de 500 MWe. Din cercetările expe-

Nr. crt.	Mărimile caracteristice	Novo-Voronej			Proiectate	
		bloc 1	bloc 2	bloc 3 şi 4	bloc 500 MW_e	bloc 1000 MW_e
1	Puterea termică, MW_t	760	1 320	1 375	1 470	2 940
2	Puterea electrică, MW_e	210	365	440	500	1 000
3	Puterea electrică pe turbină, MW_e	70	73	220	500	500
4	Randamentul brut al CNE, %	27,6	27,6	32,0	34,0	34,0
5	Durata de viaţă (de calcul), ani	25	25	30	30	30
6	Puterea specifică volumetrică a zonei active, kW/l	46	80	83	89	101
7	Combustibil folosit	UO_2	UO_2	UO_2	UO_2	UO_2
8	Îmbogăţirea în U^{235}, %	2	3	3,3	4	4,4
9	Gradul de ardere, MWzi/t — mediu	13 000	28 000	28 000	36 000	41 000
	— maxim	19 000	41 000	42 000	38 000	44 000
10	Încărcătura de comb. t	44	44	44	37	72
11	Presiunea agentului primar, ata	100	105	125	170	170
12	Temperatura agentului primar					
	— intrare în reactor, °C	245 – 255	245 – 255	270		
	— ieşire din reactor,, °C	275 – 285	275 – 285	300		
13	Nr. bucle de circulaţie	6	8	6	2	4
14	Debitul de apă al pompei pe o buclă, m^3/h	5 600	5 600	6 500	17 000	17 000
15	Casetele de combustibil :					
	— nr. lor în reactor	343	349	349	121	151
	— nr. bare într-o casetă	90	126	126	311	311
	— diametrul barei, mm	10,2	9,1	9,1	9,1	9,1
	— materialul tecii			aliaj de zirconiu		
16	Nr. barelor de reglare	73	73	73		
17	Debitul de abur produs de fiecare generator de abur, t/h		330	450	1 440	1 440
18	Temperatura apei de alimentare, °C		195	220	230	230
19	Calitatea aburului produs			saturat		
20	Presiunea aburului, ata					
	— la generator	32	32	47	64	64
	— la turbină	29	29	45	60	60
21	Presiunea la condensator	0,035 ata cu 12°C la apa de răcire			0,04 ata cu 15°C	la apa de răcire
22	Turaţia grupului, rot/min	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
23	Timpul de lucru între 2 încărcături parţiale, zile	220 – 250	270	270		
24	Numărul de încărcături parţiale pe campanie	3	3	3		

rimentale efectuate în U.R.S.S. s-a dedus că execuţia instalaţiilor de 500 şi 1000 MWe poate fi realizată pe baza unor tehnologii adecvate. Astfel de centrale mari sînt concepute şi ca centrale cu două reactoare jumelate de 500 MWe sau 1000 MWe (cu două, respectiv 4×500 MWe turbogeneratoare).

În tabela de mai sus se redau, în mod comparativ, caracteristicile principale ale centralelor nuclearoelectrice echipate cu reactoare VVER, realizate în U.R.S.S., în construcţie sau în fază de proiect.

Analizînd datele din tabela de mai sus, se pot desprinde următoarele concluzii :

a) Prin perfecţionările aduse combustibilului şi părţilor componente ale reactorului s-a putut mări continuu puterea unitară a reactorului, respectiv a centralei în ansamblu.

b) S-a mărit randamentul brut al centralei de la 27,6% la 34,0% pentru blocurile de 1000 MWe.

c) S-a mărit puterea specifică volumetrică a zonei active, de la 46 kW/l la 101 kW/l pentru blocul de 1000 MWe.

d) Creşterea gradului mediu de ardere de la 13 000 MWzi/t la 41 000 MWzi/t a condus, pe lîngă mărirea eficienţei reactorului, şi la o scădere a numărului de casete de combustibil în zona activă (de la 349 la 121 sau 151), fapt care uşurează exploatarea centralei.

e) S-a mărit presiunea agentului primar de la 100 ata la 170 ata pentru blocul de 1000 MWe, aceasta atrăgînd după sine şi temperaturile respective de intrare şi ieşire din reactor. Astfel de parametri ridicaţi vor ridica probleme asemănătoare în circuitele respective, ca şi la centralele termoelectrice clasice cu parametri ridicaţi.

f) Micşorarea numărului buclelor de circulaţie şi respectiv a numărului de generatoare de abur conduce la importante simplificări în exploatare.

g) S-au mărit parametrii aburului saturat la turbină, de la 29 ata la 60 ata. O astfel de mărire a parametrilor a permis ca pentru grupurile de 500 MWe să se păstreze turaţia de 3000 rot/min, iar dimensiunile de gabarit să se păstreze în limite admisibile.

h) S-a mărit durata de funcţionare între două reîncărcări parţiale de la 220 la 270 zile, fapt care are o mare influenţă în disponibilitatea centralei.

Acest fapt a permis ca la blocul nr. 1 de la Novo-Voronej să se obţină deja o disponibilitate a centralei de 75% după numai doi ani de funcţionare. Pentru viitor se aşteaptă măriri în continuare a campaniei reactorului.

i) În ce priveşte investiţia specifică globală la astfel de reactoare se estimează că în următorii ani va varia în limitele de 170 — 200 rb /kWi (inclusiv prima încărcătură de combustibil).

Perfecţionarea continuă a acestor tipuri de reactoare (VVER), oglindită şi în tabelul comparativ de mai sus, face posibilă realizarea unor centrale nuclearoelectrice de puteri unitare mari. Cercetările teoretice au dus la concluzia că mărirea puterii termice a unui reactor cu apă sub presiune este nelimitată. Realizarea însă practică a acestor centrale la puteri mari depinde de progresul permanent al procedeelor tehnologice industriale, deziderat pentru care se fac eforturi deosebite în U.R.S.S.

[Atomnaia energhiia — nov. 1968; *Razvitie vodo-vodianih reaktorov dlia energheticeskih ţelei v SSSR. Simpozion CAER* — apr. 1968; *Sovetskie proekti energheticeskih vodo-vodianih iadernih reaktorov VVER—500 i VVER—1000* — Simpozion CAER — apr. 1968; *Bulletin d'Information (ATEN)* — dec. 1968/

t. m.

Revista „Energohoziaistvo za rubejom", în numărul din decembrie 1968, publică analiza calculului pagubelor cauzate de întreruperi în alimentare a consumatorilor în cadrul unor ţări membre CAER. Materialul cuprinde descrierea metodologiei de calcul al pierderilor folosită în Polonia, România, Bulgaria, Cehoslovacia şi Ungaria.

În metodologia din Polonia apar următoarele formule care prezintă interes:

— Paguba datorită calităţii înrăutăţite a produselor :

$$P_{cp} = \Delta P (C_N - C_S), \qquad (1)$$

în care P_{cp} este paguba datorită calităţii înrăutăţite a producţiei; ΔP — cantitatea de produse de calitate necorespunzătoare; C_N şi C_S — costul produsului normal şi a celui de calitate înrăutăţită.

— Paguba datorită consumului suplimentar de energie şi combustibil :

$$P_{ec} = \Sigma E_{ei} C_{ei} \qquad (2)$$

în care P_{ec} este paguba datorită consumului suplimentar de energie sau combustibil; E_{ei} — consumul suplimentar de energie de tipul i; C_{ei} — costul unitar al energiei de tipul i.

— Paguba datorită nerealizării producţiei pe unitate de timp :

$$P_{np} = [P_n - P_e] (q+s+b), \qquad (3)$$

în care P_{np} este paguba datorită nerealizării producţiei; P_n şi P_e — productivitatea normală şi cea în timpul întreruperii alimentării cu energie; q — partea de amortizare şi cheltuieli generale din preţul de cost al producţiei; b — beneficiul; s — partea de salarii din preţul de cost al producţiei.

— Pagube datorite nelivrării producţiei :

$$P_p = C_{rn} - C_{r\ nef.}, \qquad (4)$$

în care P_p reprezintă paguba datorită nelivrării producţiei; C_{rn} — costul producţiei nelivrate; $C_{r\ nef}$ — costul producţiei nefolosite.

Din anul 1961 s-a urmărit statistic pe întreprinderile din Polonia paguba datorită nelivrării de energie electrică.

Pe baza datelor s-au elaborat caracteristici specifice de forma

$$Y = \frac{k_j}{a}(1 - \alpha\beta) - K_E, \qquad (5)$$

în care k_j este preţul unitar al produsului; a — consumul de energie pe unitate de produs; α — coeficient care ţine seamă de nefolosirea materiei prime în timpul întreruperii; β — raportul dintre costul materiei prime şi costul produsului; K_E — costul kWh de energie.

În aceste formule se ţine seamă de pagubele indirecte.

(Energohoziaistvo za rubejom nr. 6, 1968 noembr.—dec. p. 38—40)

m. d.

În revista „Elektricestvo" nr. 12 din 1968 au fost publicate rezultatele măsurătorilor supratensiunilor care apar în reţeaua de 400 kV de interconexiune a sistemelor energetice ale Republicii Socialiste România, Republicii Socialiste Cehoslovace şi Uniunii Sovietice. Articolul, întocmit de specialişti din U.R.S.S., R.S.C., R.S.R. şi R.P.P., trece în revistă parametrii principali ai reţelei de interconexiune şi descrie încercările pe viu care s-au efectuat la punerea în funcţiune.

Concluziile autorilor relevă justeţea dimensionării izolaţiei la un nivel de 3 U_f şi a schemei de protecţie împotriva supratensiunilor.

(Elektricestvo nr. 12, 1968. p.9)

m. d.

Încercările efectuate pe linia experimentală de 750 kV Konakovo-Moscova privind parametrii la înaltă frecvenţă au confirmat în mare măsură justeţea calculului atît în cazul liniei fără conductor de protecţie cît şi în cazul existenţei unor conductoare de protecţie. Încercările au confirmat posibilitatea utilizării liniilor de 750 kV pentru canale de înaltă frecvenţă. Singura problemă neelucidată este amortizarea mai accentuată a semnalelor în diapazoanele mai înalte, în cazul folosirii conductoarelor de protecţie pentru canale de înaltă frecvenţă.

(Elektricestvo nr. 12, 1968, p. 9—15)

m. d.

Determinarea vidului optim în cazul centralelor termoelectrice, cu staţie de pompe generală, ridică probleme de exploatare dificile, datorită numărului nelimitat de soluţii posibile. Înlăturarea acestei dificultăţi se face, în cadrul sistemului „Stavropolenergo, cu ajutorul nomogramelor de calcul. Exemplele publicate se referă la o turbină de 150 MW K—150—130, la un debit orar de 300 t/h. Se prezintă nomogramele pentru determinarea modificării puterii şi vidului în condensator în funcţie de debitul de apă de răcire, de repartiţia optimă a apei de răcire între grupuri şi pentru determinarea cantităţii maxime raţionale de apă pe condensator.

(Elektriceskie stanţii nr. 12, 1968, p. 18—23)

m. d

Întreprinderea „Energie Versorgung Schwaben AG" (EVS) a comandat la firma BBC din Mannheim (R.F.G.) un turbogrup de 74,4 MW, inclusiv montajul şi conducerea construcţiei. Instalaţia va fi montată în sala de cazane a centralei Marbach, de pe Neckar, iar combustibilul folosit va fi motorina. Noua insta-

laţie va forma o rezervă rece şi va acoperi necesităţile de putere la vîrfurile de sarcină. Instalaţia de automatizare va permite pornirea în 5 min, respectiv în cazuri urgente în 2,5 min, din stare rece. Sistemul de construcţie este bazat pe piese unificate şi constă din elemente Rolls-Royce şi o turbină BBC. Turbina, generatorul şi excitatricea sînt montate pe ax comun.

(BWK 21, 1969, nr. 1, p. 47)

fr. s.

Firma BBC din Baden (Elveţia) are în construcţie un turbogrup de 1100 MW, destinat unei centrale nuclearoelectrice a societăţii „Electric-Power", pe lacul Michigan. Avînd în vedere că încercări pe astfel de carcase nu sînt posibile — tot turbogrupul are o lungime de 76m —, s-a realizat un model în scară de 1 :5, care a fost încercat în lacul Bodensee. Dimensiunile modelului au fost de 3,5m × 4m × 2,5m şi a fost transportat de un vapor-plută de pe care a fost coborît la diferite adîncimi cu ajutorul unei macaraleturn. Limita de stabilitate a fost atinsă la o adîncime de 63 m sub nivelul apei, ceea ce corespunde unei siguranţe de peste 6 ori. Încercările spectaculoase, unice în felul lor, au permis obţinerea unor rezultate interesante, care devin foarte importante la realizarea unor obiective similare.

(BWK 21, 1969, nr. 1, p. 47)

fr. s.

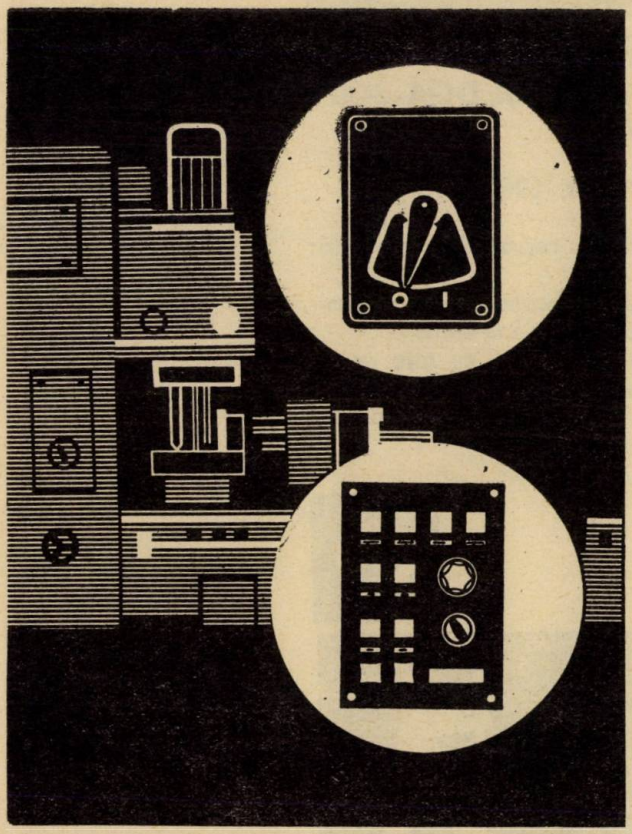
Franţa a încheiat recent o convenţie cu Canada pentru cinci ani privind efectuarea unui schimb de informaţii cu Canada în domeniul reactoarelor nucleare cu apă grea. Avînd în vedere că Franţa nu a atins încă în domeniul reactoarelor cu cu apă grea nivelul Canadei, diferenţa de costuri pentru schimburile de informaţii realizate se suportă de către Comisariatul francez pentru energie nucleară.

(BWK 21, 1969, nr. 1, p. 46)

fr. s.

— — o — —

APARATAJ DE COMUTAŢIE DE JOASĂ TENSIUNE — UN PRAGRAM CUPRINZĂTOR CU POSIBILITĂŢI DE APLICARE MULTILATERALĂ



Uzinele constructoare de aparataj electric din R.D.G. vă stau la dispoziţie cu un program cuprinzător de aparate standardizate, consacrate în practică, precum şi cu un mare număr de realizări noi şi perfecţionate. În privinţa acestor realizări, vom menţiona, în special, întreruptoarele de supracurent de mare putere EBL, întreruptoarele automate cu rupere în aer, comutatoarele cu came şi aparatele de comandă acţionate mecanic şi manual.

Din seria de aparate standardizate confecţionăm automate de protecţie pentru motoare electrice, întreruptoare de mare putere, întreruptoare automate grele cu rupere în aer, aparate de comutaţie pentru construcţia de nave, aparate de comutaţie pentru ascensoare şi aparate de comutaţie antigrizutoase şi antideflagrante.

Vă informăm cu plăcere despre aceste aparate, respectiv grupe de aparate. Vă rugăm cereţi prospecte.

ELEKTRO-APPARATE-WERKE DER DDR

Exportator :

Elektrotechnik

EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
104 BERLIN
REPUBLICA DEMOCRATĂ GERMANĂ

Informaţii detaliate prin :
Ambasada R.D.G. în R.S.R.
Biroul tehnico-comercial Elektrotechnik
Calea Dorobanţilor nr. 14, Bucureşti

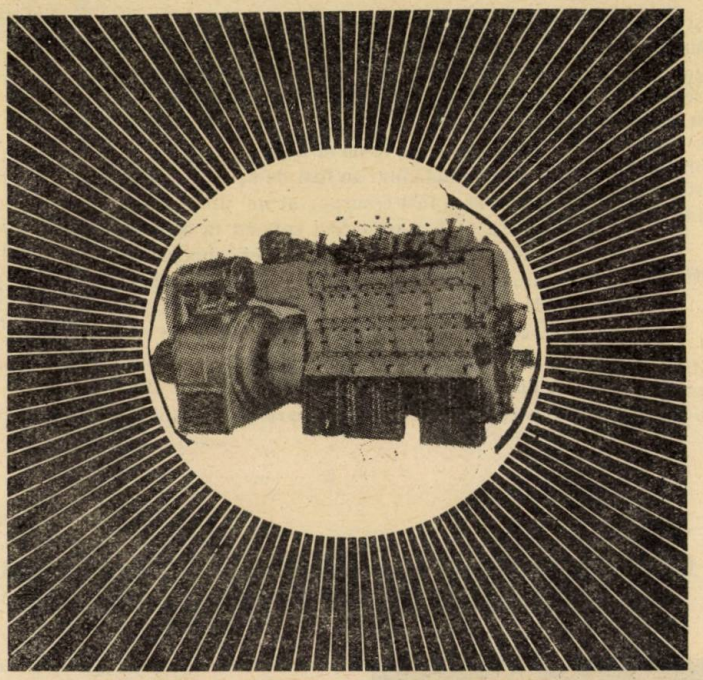
EAW

Revista „ENERGETICA", organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din R. S. România (CNIT). Redacţia: Bucureşti, str. Galaţi nr. 5—7, Sectorul 2, Tel. 139200 Instituţiile pot achita abonamentele pentru biblioteci şi cabinete tehnice în contul nostru de virament: nr. 40010100 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni şi ingineri lei 30 anual. Preţul unui exemplar lei 5. — Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informaţia", Bucureşti — c. 3222

Taxele poştale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10/1095, 1967

41 401

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁRES DOKUMENTÁCIÓS KÖZPONT 1883



GENERATOARE DIESEL

4 DGA-19/30, 6 DGA-19/30 ŞI DGA-300

Putere : 125, 205 şi 300 kW
Tensiune : 400/230 V
Numărul de rotaţii pe minut: 500, 600, 500
Frecvenţa : 50 Hz
Durata de funcţionare pînă la reparaţia capitală: 30 000—40 000 ore

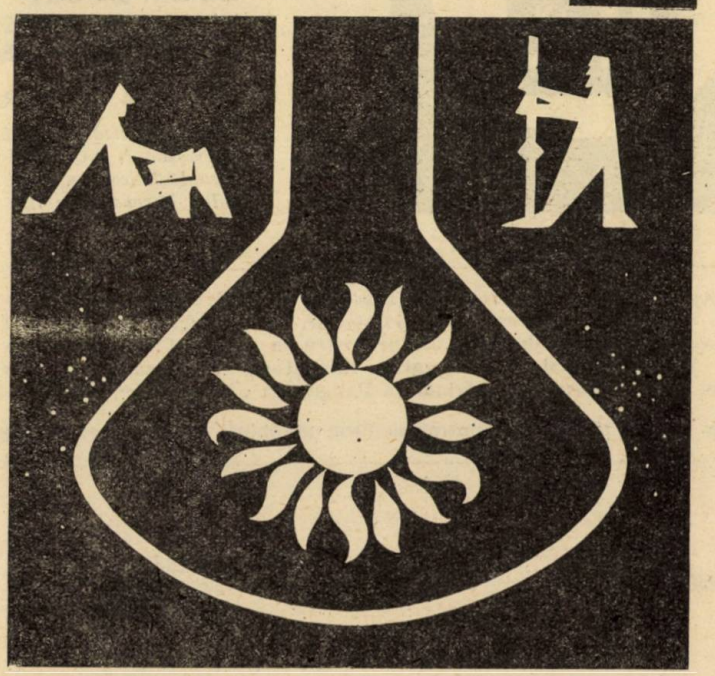
— se remarcă prin siguranţă deosebită, economicitate în exploatare şi simplitate în întreţinere

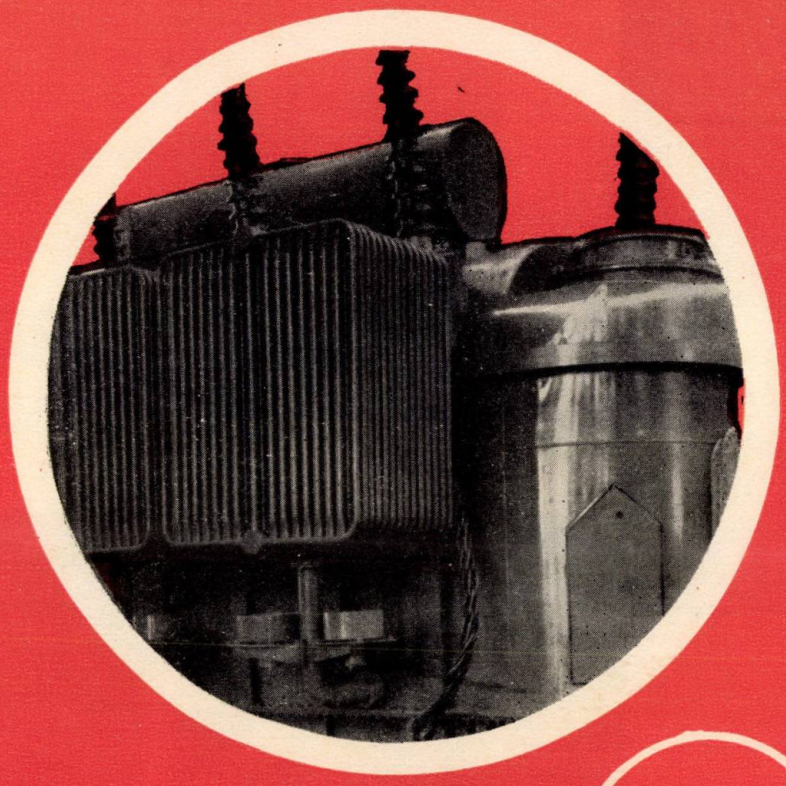
— pot lucra autonom, sau în paralel cu alte agregate de acelaşi tip sau cu reţeaua electrică

— la cererea cumpărătorului se pot fabrica special pentru ţări cu climat tropical.

Pentru orice lămurire a se adresa la:

V/O „Energomaşexport"
U.R.S.S., Moscova B-330
Mosfilmovska 35
Telex: 255





I.E.SIBIU

ATELIERELE SECȚIEI DE REPARAT MAȘINI ELECTRICE ALE

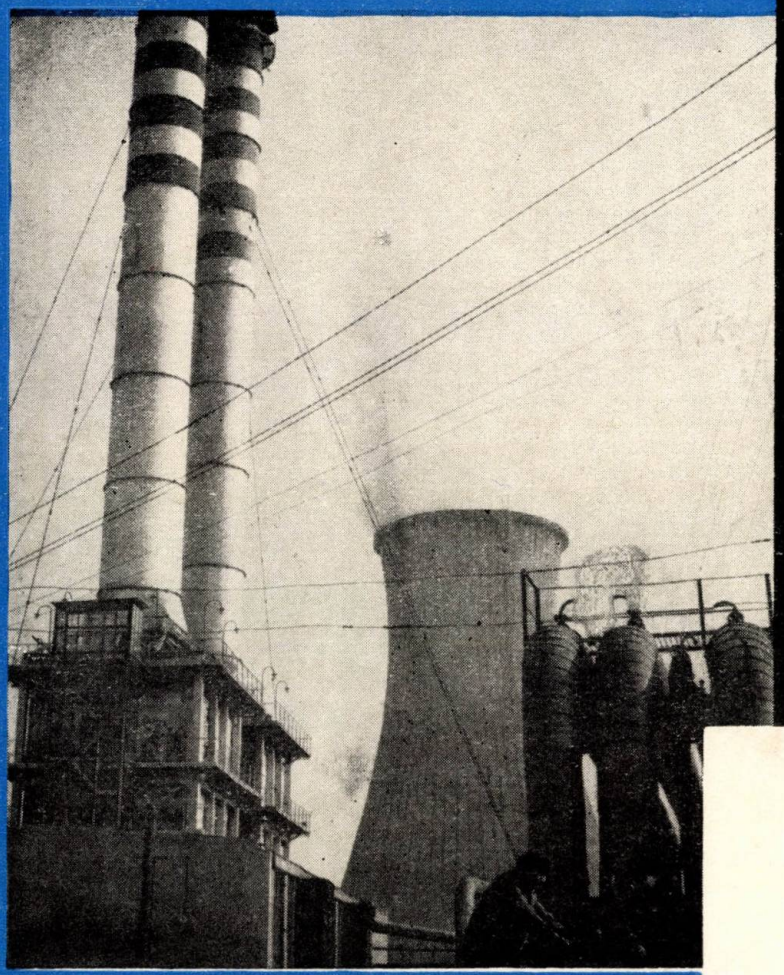
ÎNTREPRINDERII DE ELECTRICITATE SIBIU

STR. UZINEI NR. 7, TEL. 14850

IES

- **CONSTRUIESC**
  bobine de stingere pentru compensarea rețelelor de 6, 15 și 20 kV
- **REPARĂ ȘI MODERNIZEAZĂ**
  transformatoare de forță pînă la 40 MVA — autotransformatoare
- **RECONDIȚIONEAZĂ**
  uleiuri de transformator
- **EXECUTĂ ANALIZE COMPLEXE**
  de uleiuri izolante

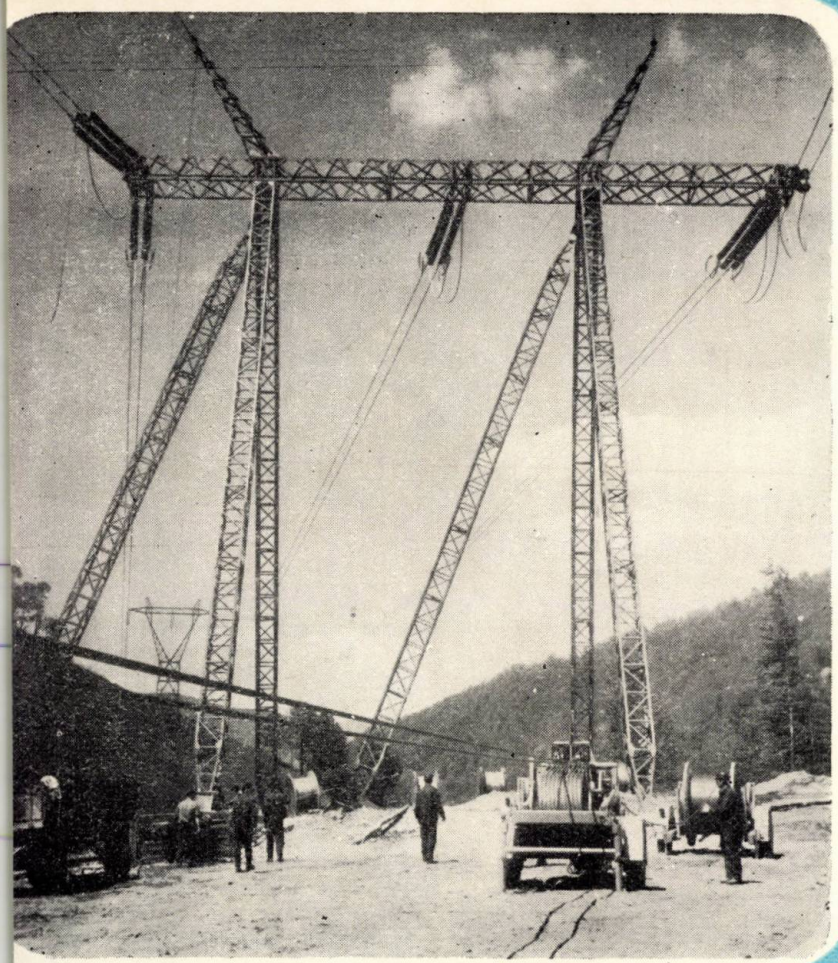
IRE BANAT



IRE Banat
Timişoara

- proiectează, execută, întreţine şi exploatează instalaţii de transport şi distribuţie a energiei electrice;
- pregăteşte cadre pentru sectorul energetic;
- asigură transportul şi distribuirea continuă a energiei electrice prin reţelele sale de înaltă, medie şi joasă tensiune, pentru toţi consumatorii;
- execută cu unităţile proprii încercări profilactice la aparatajul electric şi verificări de protecţii prin relee;
- execută lucrări de instalaţii electrice interioare pentru unităţi socialiste în mediul urban şi rural.

TIMIŞOARA, PIAŢA ROMANILOR
nr. 11—tel. 11180, 11181, 11182



Trustul Electromontaj

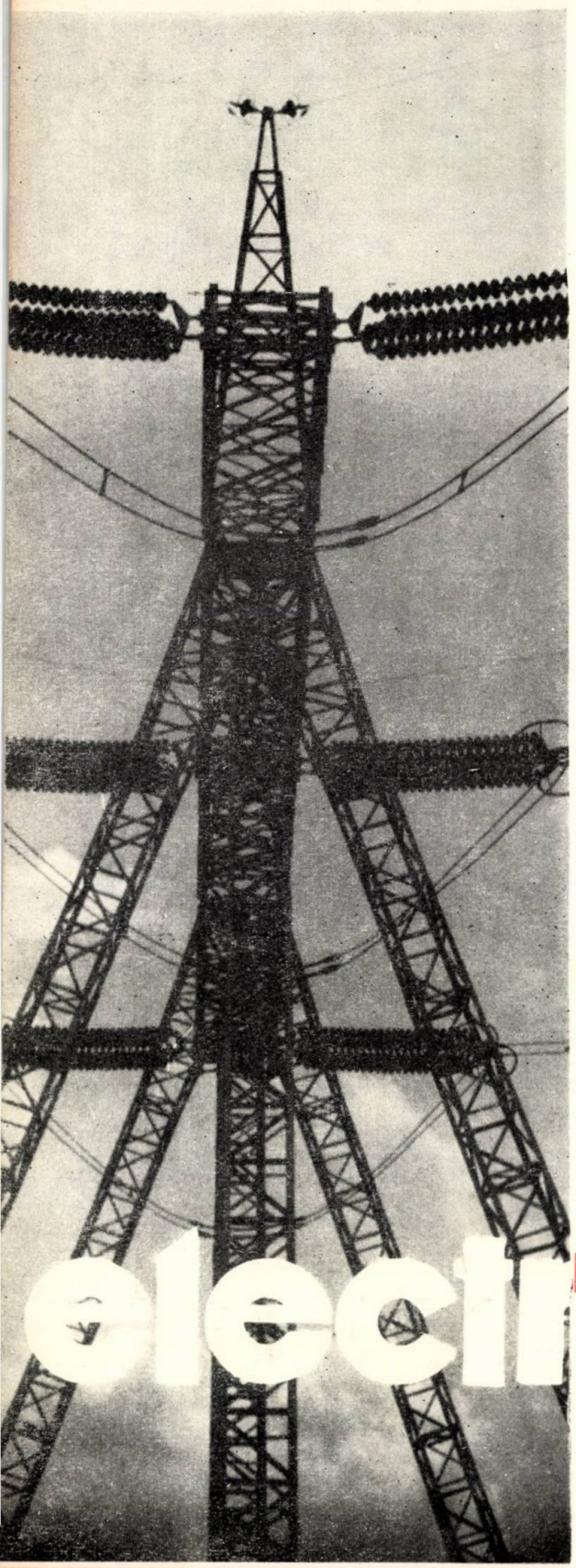
BUCUREȘTI, CALEA MOȘILOR 158 – TELEFON 16.63.30

Execută prin unitățile sale de construcții:

- Stații electrice și posturi de transformare
- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție
- Electrificări rurale

Produce prin unitățile sale industriale:

- Stîlpi metalici
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat, pretensionați
- Celule și panouri pentru centrale și stații electrice
- Posturi de transformare urbane și rurale complet prefabricate
- Diverse prefabricate pentru centrale electrice, stații, posturi de transformare și linii electrice de transport și distribuție



ÎNTREPRINDEREA

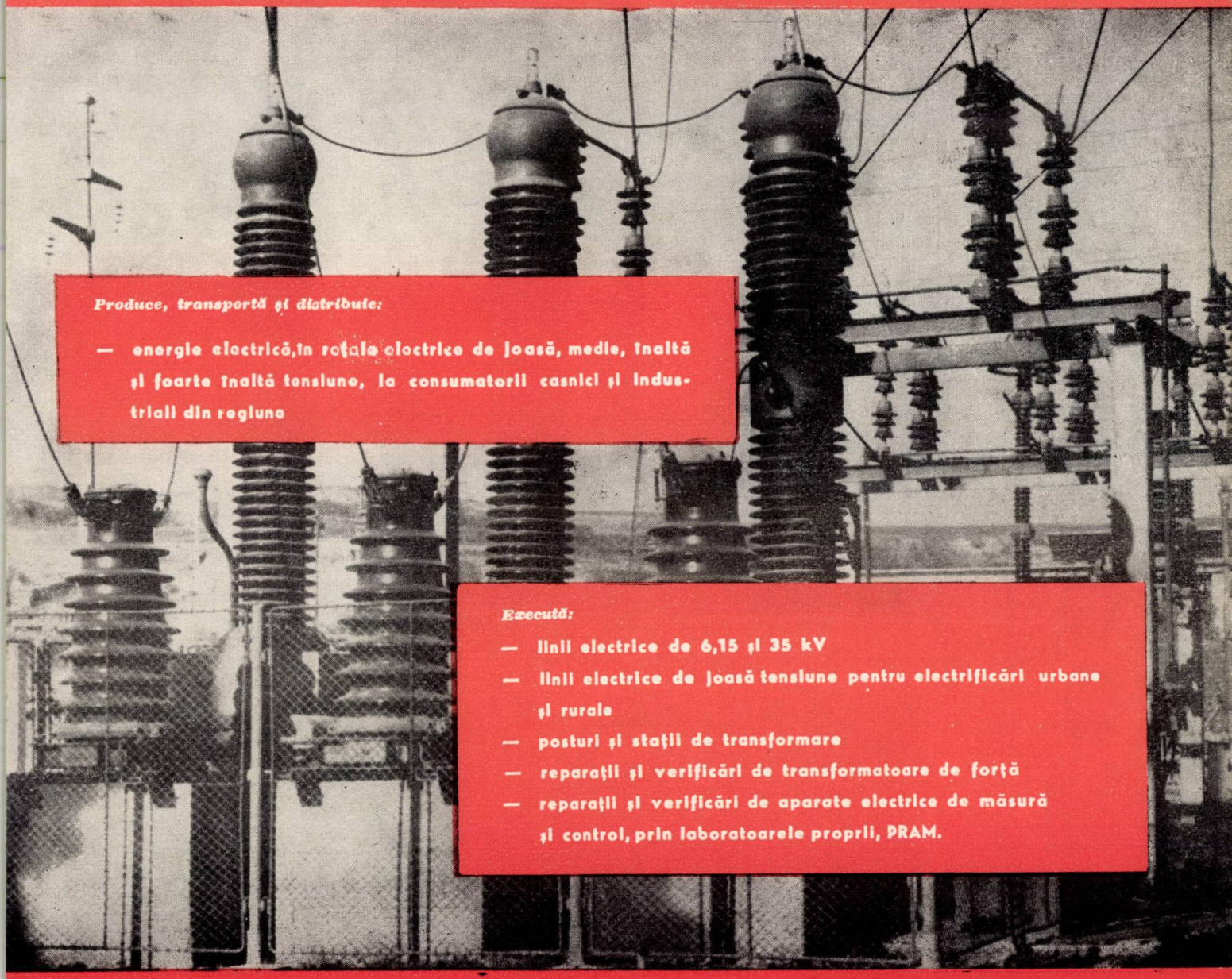
electromontaj

BUCUREȘTI

Execută:

- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție
- Rețele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
- Stații de transformare 35 — 400 kV
- Stații de distribuție și posturi de transformare
- Rețele de iluminat public
- Electrificări rurale

I.R.E. OLTENIA



Produce, transportă și distribuie:

— energie electrică, în rețele electrice de joasă, medie, înaltă și foarte înaltă tensiune, la consumatorii casnici și industriali din regiune

Execută:

— linii electrice de 6,15 și 35 kV
— linii electrice de joasă tensiune pentru electrificări urbane și rurale
— posturi și stații de transformare
— reparații și verificări de transformatoare de forță
— reparații și verificări de aparate electrice de măsură și control, prin laboratoarele proprii, PRAM.

Întocmește:

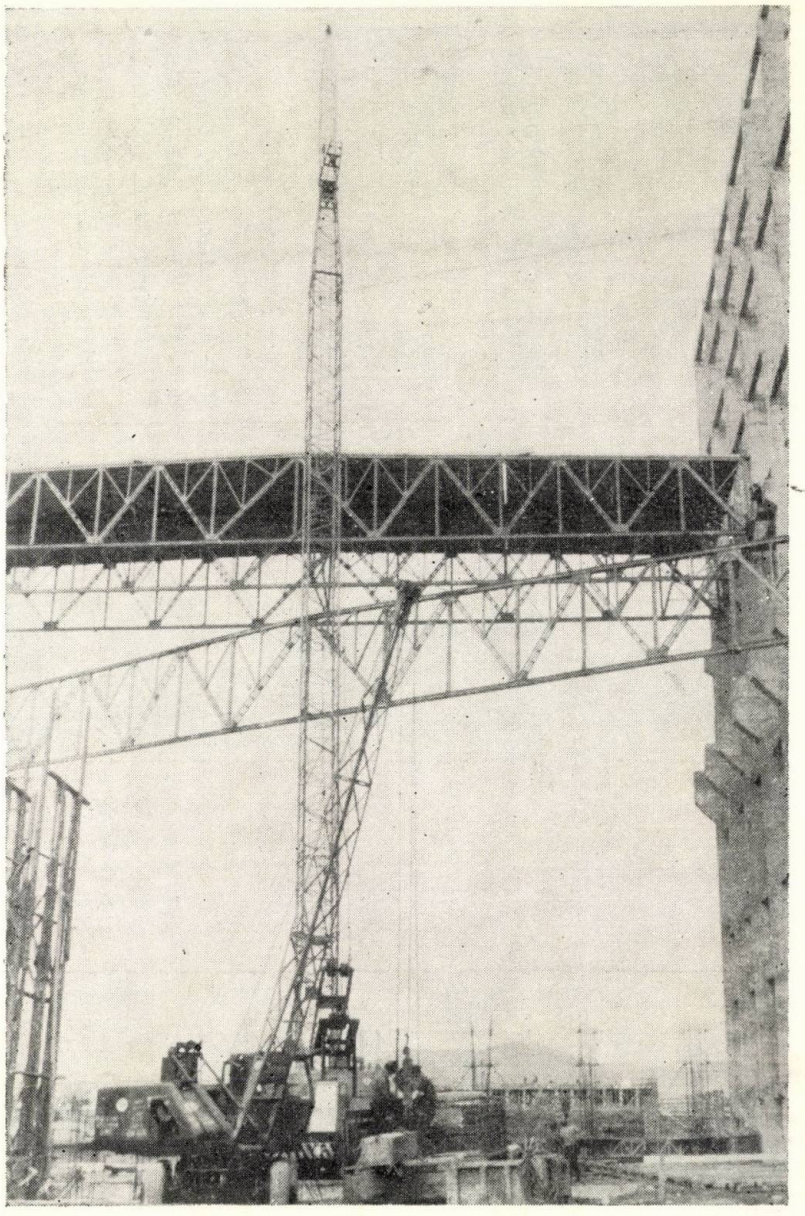
— studii tehnico-economice pentru lucrări noi și îmbunătățirea instalațiilor existente
— proiecte de execuție pentru linii aeriene și subterane, posturi și stații de transformare, instalații do iluminat exterior

IREO

energoconstrucția

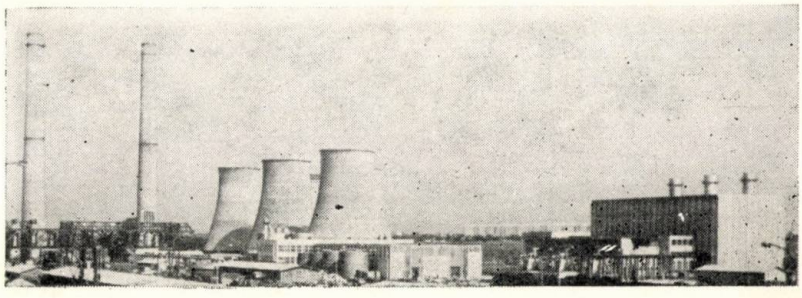
Execută lucrări de construcții energetice:

- Centrale termoelectrice
- Termoficări urbane și industriale
- Construcții hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
- Stații de transformare de 110, 220, 400 kV

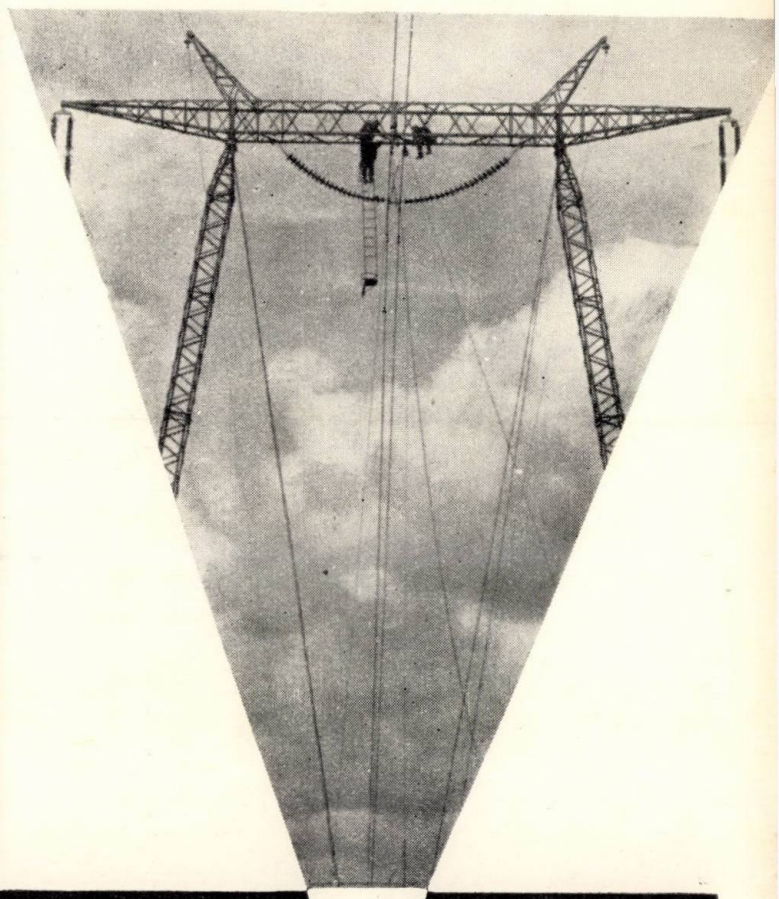


- *Lucrări speciale:*

— coșuri de fum prin glisare, cu înălțimi pînă la 250 m;
— turnuri de răcire tiraj natural și tiraj forțat
— montaje de prefabricate grele din beton armat;
— construcții metalice;
— glisări de structuri spațiale și plane din beton armat;
— instalații electrice de joasă tensiune;
— instalații sanitare;
— alimentări cu apă și canalizări;
— izolații anticorosive la betoane etc.



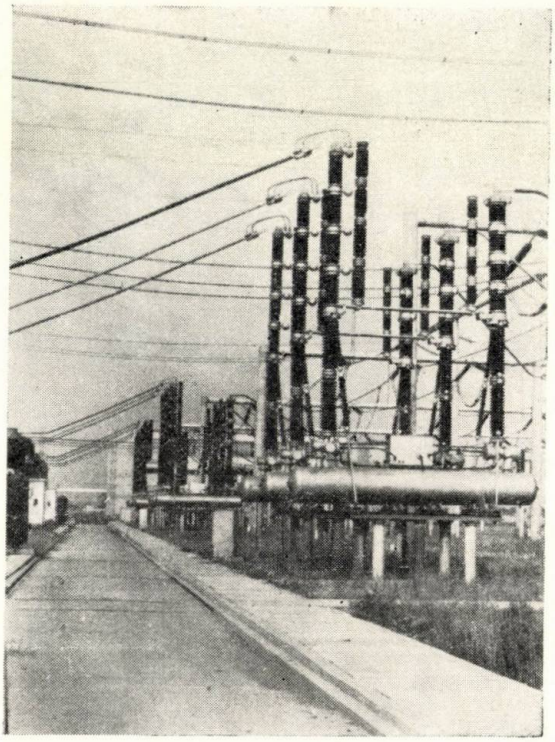
1969



- produce, transportă și distribuie energie electrică în rețele electrice de înaltă, medie și joasă tensiune;
- execută:

— verificări de aparate electrice de măsură și control în laboratorul PRAM—IREM;
— lucrări de construcții—montaj la electrificări rurale și industriale și instalații interioare;
— lucrări de întreținere la iluminatul public;
— proiecte de instalații energetice

IRE HUNEDOARA



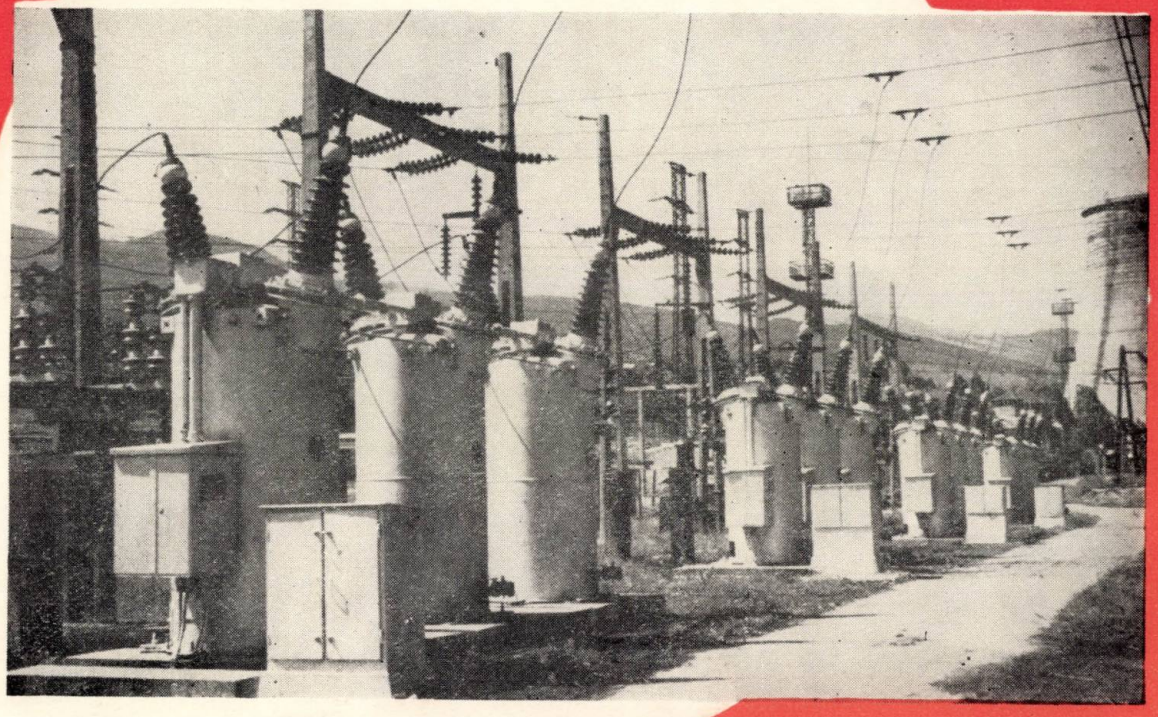
I.R.E. ARGEȘ

I.R.E. Argeș, prin instalațiile sale cu un înalt grad de tehnicitate asigură în bune condițiuni alimentarea cu energie electrică a tuturor consumatorilor săi.

Prin unitatea sa de proiectare asigură documentațiile pentru linii, stații și posturi trafo de 110 kV, 20 kV și 6 kV, electrificări rurale.

Prin unitatea sa de construcții-montaj execută lucrări de electrificare.

Prin loturile de instalații interioare, execută instalații interioare la unitățile socialiste și la abonații particulari.

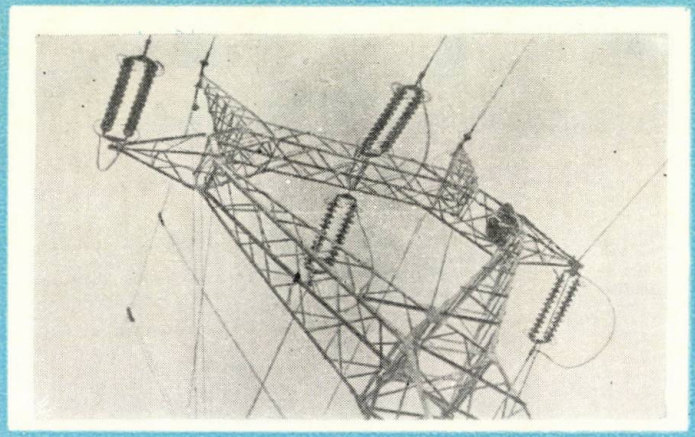


INTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE

PAROȘENI

● produce și furnizează sistemului energetic național energie electrică

IEC Paroșeni este înzestrată cu instalații și utilaje la nivelul tehnicii mondiale avansate, producînd și furnizînd energie electrică în condiții tehnice superioare.



IRE BACĂU

- Transportă și distribuie energie electrică prin rețelele sale, alimentate din sistemul energetic național, asigurînd tuturor consumatorilor de energie electrică o bună deservire.
- Proiectează rețele, stații și posturi de transformare. instalații interioare în mediul urban și rural.
- Execută rețele și posturi de transformare,

Execută reparații:

- la transformatoare de forță și măsură cu puteri pînă la 40 MVA și tensiuni pînă la 110 kV;
- la întrerupătoare și separatoare pentru toate tensiunile

Execută lucrări mecanice:

- de confecții metalice pentru linii electrice aeriene;
- de scule și dispozitive specifice lucrărilor energetice

BĂNEASA

INTREPRINDEREA PIESE RADIO ȘI DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE—BĂNEASA

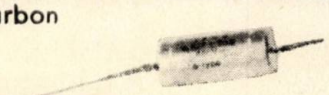
Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, sector 2, telefon 33.38.30, Telex 011203

IPRS București

PRODUCE :

PIESE RADIO

- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare

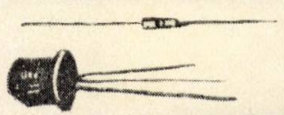


- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice

- Condensatoare hîrtie-uz general-
- Condensatoare hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice

- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate

DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE



- Diode cu germaniu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu

- Tranzistoare cu germaniu, de joasă frecvență
- Tranzistoare cu germaniu de înaltă frecvența

Pentru informații suplimentare consultați cataloagele noastre

ispe

INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE

Bd. Republicii nr. 29 – tel. 15.89.60

București

elaborează:

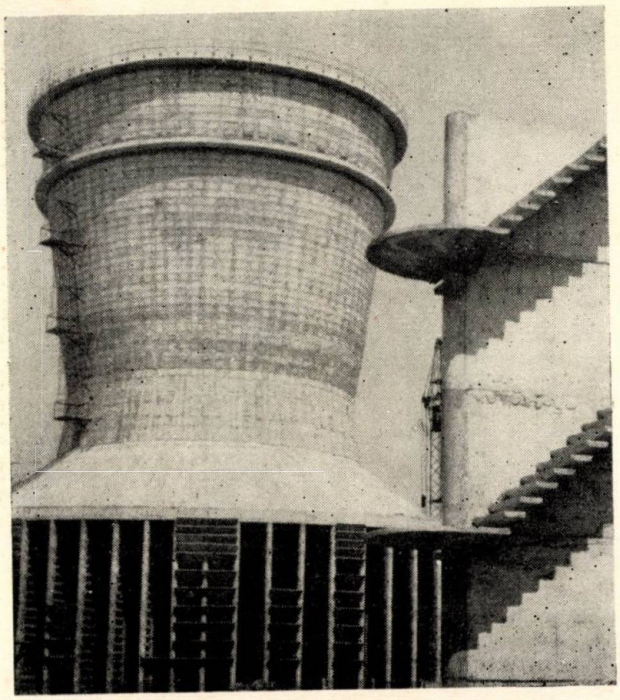
- studii de amenajări complexe de sisteme energetice
- studii de centrale electrice de condensație și termoficare
- studii de rețele complexe de termoficare urbană și industrială

acordă asistență tehnică

- pentru stabilirea echipamentului tehnologic la lucrări energetice, execuție și punere în funcțiune

proiectează:

— centrale termoelectrice
— rețele de termoficare



elaborates the studies for:

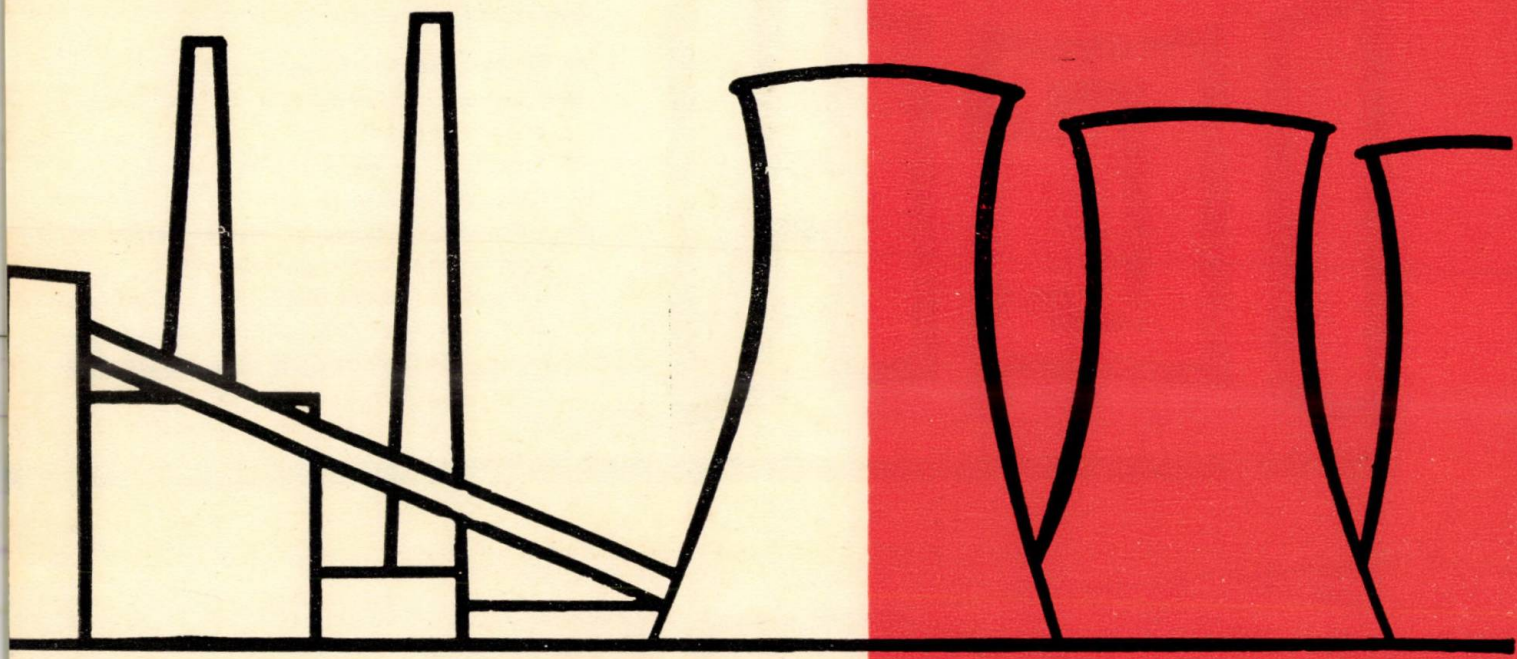
- complex power systems
- thermal power plants and combined heat and power plants
- district and industrial heating networks

designs

- thermal power plants
- district and industrial heating networks

gives technical assistance

- for the erection and starting of power equipment



INTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE DOICEȘTI

Puterea instalată a tuturor centralelor electrice ale I.E.C. Doicești depășește 150 MW și asigură cu energie electrică zonele industriale Ploiești și Tîrgoviște.

I.E.C. Doicești este interconectată la sistemul energetic național, livrînd energie la 110, 35 și 6 kV.

I.E.C. Doicești contribuie la înfăptuirea programului de electrificare a țării.

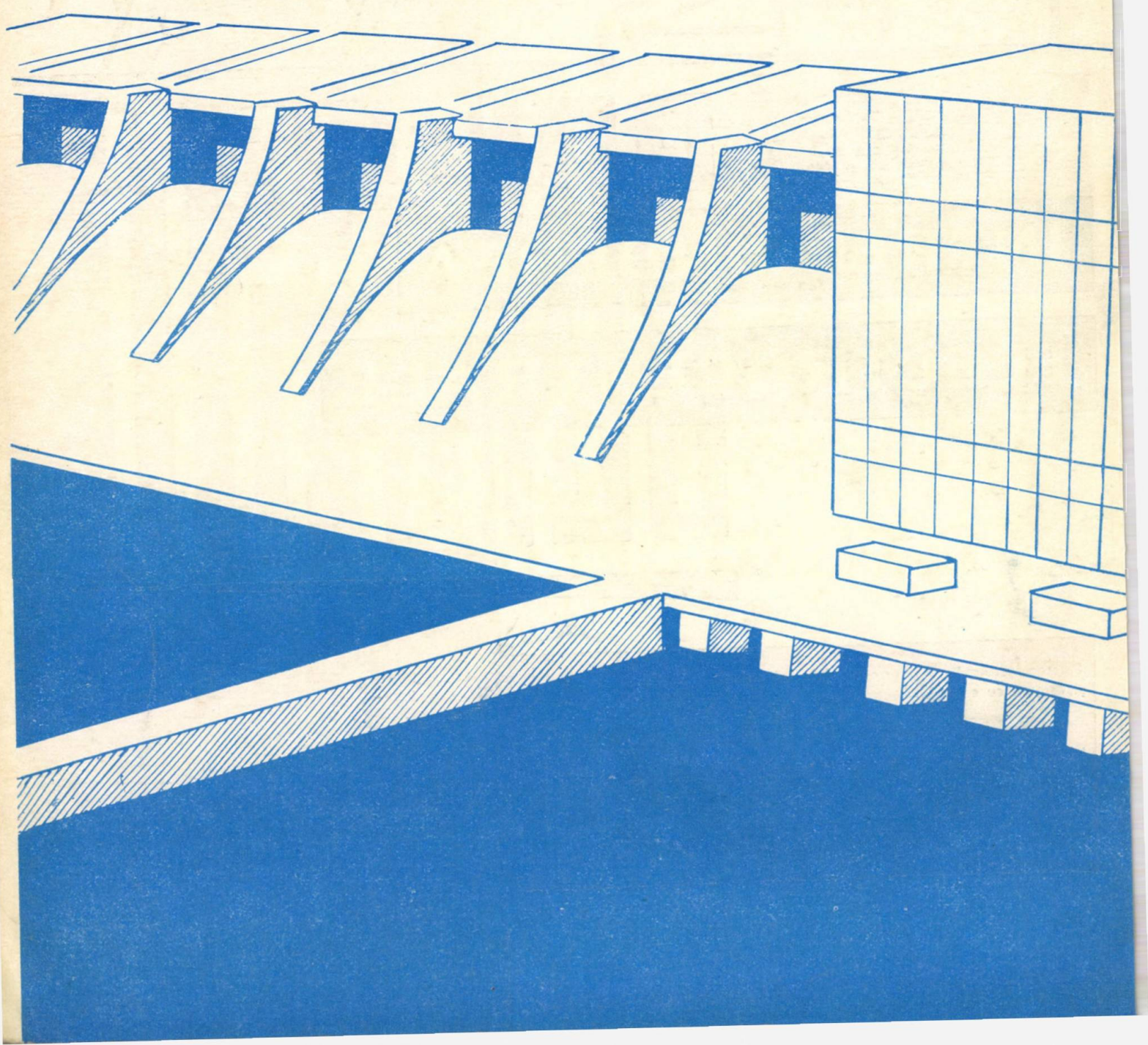
1970 MAI 30

ICH

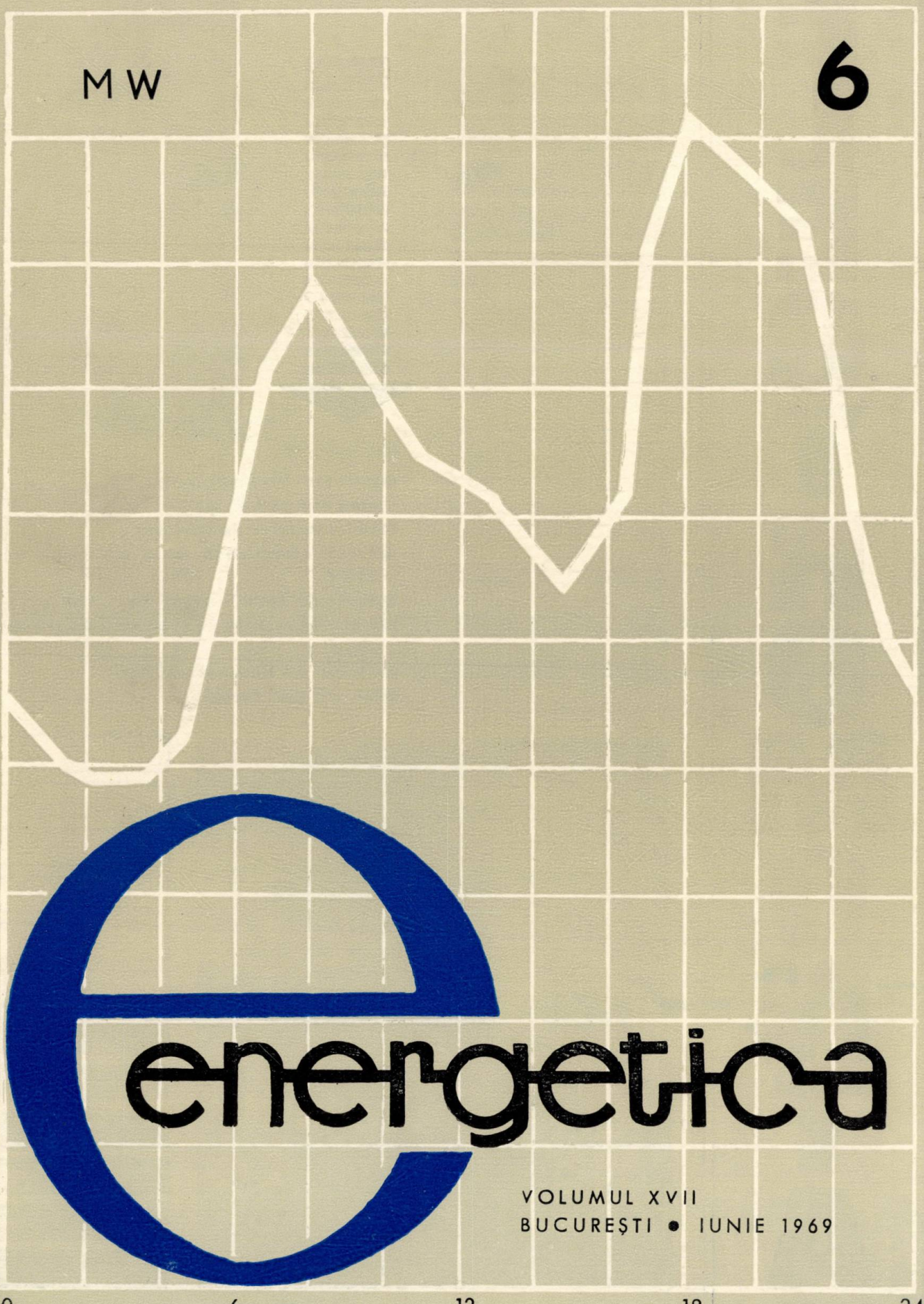
Execută lucrări de:

- Baraje de toate genurile
- Centrale hidroelectrice subterane și de suprafață
- Tuneluri și galerii hidrotehnice
- Canale și diguri
- Amenajări pentru alimentarea cu apă a marilor industrii

I. C. H. — București, str. Dimitrie Onciu nr. 23—25, telefon 36.54.70, telex INCOHIDROEN București 244



E 2039

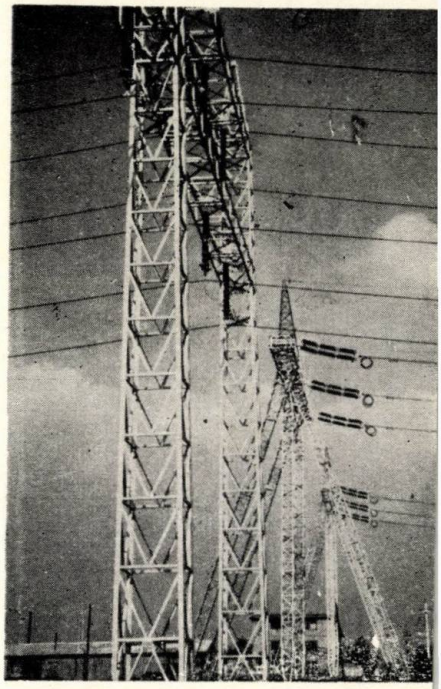


energetica

VOLUMUL XVII
BUCUREŞTI • IUNIE 1969

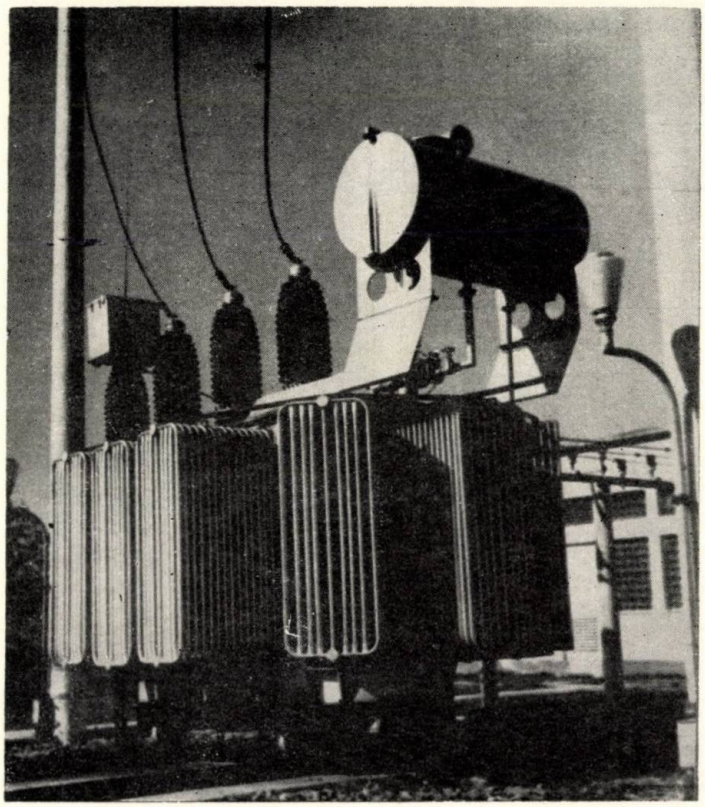
ELECTROMONTAJ

ÎNTREPRINDEREA



Execută :

- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție
- Rețele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
- Stații de transformare 35 – 400 kV
- Stații de distribuție și posturi de transformare
- Rețele de iluminat public
- Electrificări rurale



BUCUREȘTI

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUPLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 17 Nr.3 IUNIE

MŰSZAKI DOKUMENTÁCIÓS INTÉZET

Cuprinsul

Radu-Cernea, A. şi *Trifu, C.* — **Studiul bilanţului exergetic al blocului de 200 MW** — 265—269

Semlyen, A. — **Contribuţii la calculul supratensiunilor de comutaţie la linii de înaltă tensiune** — 269—278

Bensimon, A. — **Analiza posibilităţilor de apariţie a supratensiunilor de rezonanţă armonică în reţelele de foarte înaltă tensiune** — 279—288

Adămuţ, I. — **Cercetarea proceselor de propagare pe liniile electrice lungi cu pierderi, prin metoda diferenţelor finite, cu referire la calculatoare analogice** — 289—296

Goldenberg, R. şi *Radu, N.* — **Contor de supratensiuni în reţele de medie tensiune** — 297—303

TRATAREA APEI ÎN CENTRALELE TERMOELECTRICE

Şuşman, C. — **Indicii de calitate ai apei de răcire** — 303—305

Neuberger, G. — **Reactivi complexanţi pentru curăţirea suprafeţelor interioare ale cazanelor** — 305—309

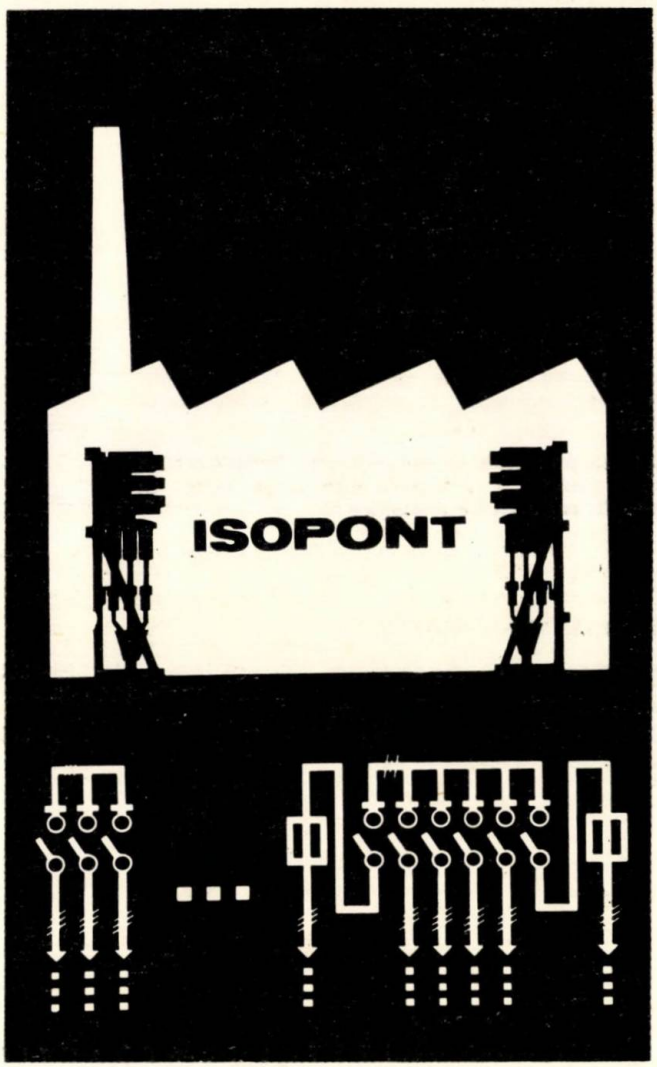
CRONICĂ

RECENZII

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, conf. ing. E. CONSTANTINESCU, ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, conf. ing. V. NITU, ing. A. SPÎNU

OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE



6 celule de întrerupere împreună cu

2 tablouri pentru siguranțe

pe o lungime de numai 1266 mm

Acest mod economic de construcție în aparatura de distribuție pentru tensiune înaltă de 10 sau 12 kV/400 A este posibil datorită separatoarelor de putere ISOPONT:

Un sistem de blocuri, rațional și sigur în funcționare, cu numai 3 blocuri de bază pentru construcția unor sisteme de distribuție cu 3 pînă la 6 celule.

Informații mai amănunțite prin:

Biroul tehnico-comercial
DIA Elektrotechnik
Serviciul economico-politic
al Ambasadei R. D. G. în R. S. România
Calea Dorobanților 14, București

Exportator:

Elektrotechnik

EXPORT — IMPORT

Volkseigener Aussenhandelsbetrieb der
Deutschen Demokratischen Republik
DDR 104 Berlin Chausseestrasse 111/112

HOCHSPANNUNGSGERÄTEWERKE DER DDR

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311.22 : 004.15

Раду-Черня, А. и *Трифу, К.:* **Использование эксергетического баланса агрегата 200 Мвт.**

Приводится эксергетический баланс элементов агрегата 200 Мвт., а также полезность этих балансов, заключающаяся в выявлении ряда потерь, которые в энергетических балансах не показаны, а именно, из за необратимости сгорания в топке котла или из за необратимости тёплообмена в котле и в тёплом цикле.

Energetica 17 (1969), No. 6, стр. 265–269

ДК 621.316.13 : 621.3.015.3.001.24

Семлиен, А.: **Вклад в расчёт комутационных перенапряжений по линиям высокого напряжения**

Рассматривается метод высокой точности для определения комутационных перенапряжений на основе анализа распространения прямоугольных волн по трифазным линиям высокого напряжения.

Energetica 17 (1969), No. 6, стр. 269–278

ДК 621.311.1.027.8.018.3

Бенсимон, А.: **Анализ возможных перенапряжений гармонического резоканса в сетях сверхвысокого напряжения**

Исследуются усиления или ослабления имеющие место при передаче гармонических вибраций на линиях большого протяжения и максимально возможные значения.

Energetica 17 (1969), No. 6, стр. 279–288

ДК 537.31 : 621.311.1

Адэмуц, И.: **Исследование процессов распространения по электрическим длиным линиям с потерями по методу конечных разниц с применением аналоговых рассчетных машин**

Представляются классические и обобщенные уровнения распространения I и II порядков. Даются приблизительные указастранения I и II порядков. Даются приблизительные указания о способе применения метода конечных разниц для электрических линий. Устанавливаются уровнения и укаываются аналоговые модели для простых и улучшенных конечных разниц. Приводится сравнение между разными возможностями решения уровнений по этому методу.

Energetica 17 (1969), No. 6, стр. 289–296

ДК 621.3.02.25 : 621.317.785.5/6 : 621.3.015.3

Гольденберг, Р. и *Раду, Н.:* **Счётчик сверхнапряжения в сетях среднего напряжения**

Energetica 17 (1969), No. 6, стр. 297–303

ДК 621.311.22 : 621.713 : 628.16

Шушман, К.: **Качественные показатели охладительной воды**

Экзаменуются сложные вопросы, возникающие при использовании охладительной воды тёплообменников и необходимость установления некоторых качественных показателей для получения чистых поверхностей во избежаний отложений, коррозий и развития организмов.

Energetica 17 (1969), No. 6, стр. 303–305

ДК 621.187.3.004.5

Неубергер, Г.: **Компенсационные реактивы для очистки внутренних поверхностей котлов**

Приводятся выгоды и недостатки комплексных реактивов, выявляя аспекты относящиеся к возможностям их применения и к областям их использования

Energetica 17 (1969), No. 6, стр. 305–309

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.311.22 : 004.15

Radu-Cernea, A. und *Trifu, C.* : **Untersuchung der exergetischen Bilanz eines 200 — MW-Dampfturbinensatzes**

Es wird die exergetische Bilanz einelner Anlageteile eines 200-MW-Turbosatzes erörtert. Die Vorteile derartiger Bilanzen bestehen in Ausweisung von mittels Energiebilanzen nicht zum Vorschein gebrachter Verluste, wie etwa solchen infolge Unumkehrbarkeit von Brennvorgängen in der Kesseifeuerung oder des Wärmeaustausches im Kessel und im Wärmekreislauf.

Energetica 17 (1969), H. 6, S. 265–269

DK 621.316.13 : 621.3.015.3.001.24

Semlyen, A. : **Beitrag zur Berechnung von Schaltüberspannungen bei Hochspannungsleitungen**

Es wird ein Verfahren erörtert für genauere Ermittlung von Schaltüberspannungen, auf Grund einer Analyse der Programmierung von Rechteckwellen in Hochspannungs-Drehstromnetzen.

Energetica 17 (1969), H. 6, S. 269–278

DK 621.311.1.027.8.018.3

Bensimon, A. : **Untersuchung der Möglichkeit des Auftretens von Oberwellenrezonanzüberspannungen in Höchstspannungsleitungen**

Es werden die bei Übertragung von Oberwellen in Höchstspannungsleitungen grosser Länge auftretenden Verstärkungen oder Dämpfungen sowie deren mögliche Höchstwerte erörtert.

Energetica 17 (1969), H. 6, S. 279–288

DK 537.31 : 621.311.1

Adămuț, I. : **Untersuchung der Fortpflanzungsvorgänge auf langen elektrischen Leitungen, mittels des Verfahrens endlicher Differenzen und an hand analoger Rechenmaschinen**

Es werden herkömmliche und verallgemeinerte Gleichungen erster und zweiter Ordnung dargestellt und kurze Hinweise auf die Anwendungsweise des Verfahrens endlicher Differenzen bei Berechnung elektrischer Netze gegeben. Die Gleichungen und die analogen Modelle für einfache und verbesserte endliche Gleichungen werden aufgezeigt. Verschiedene Möglichkeiten der Lösung von Gleichungen an Hand dieses Verfahrens werden vergleichen.

Energetica 17 (1969), H. 6, S. 289–296

DK 621.3.02.25.621.317.785.5/6 : 621.3.015.3

Goldenberg, R. und *Radu, N.* : **Überspannungsmessgeräte in Mittelspannungsnetzen**

Energetica 17 (1969), H. 6, S. 297–303

WASSERAUFBEREITUNG IN DAMPFKRAFTWERKEN

DK 621.311.22 : 621.713 : 628.16

Şuşmın, C. : **Qualitätsmerkmale für Kühlwasser**

Es werden die vielseitigen, durch Verwendung von Kühlwasser in Wärmetauschern ausgelösten Fragen, sowie die Zweckmässigkeit einer Festlegung von Qualitätsmerkmalen erörtert, durch welche die Innenflächen in sauberem Zustand erhalten und Ablagerungen, Korrosionerscheinungen und die Entwicklung einer Flora vermieden werden.

Energetica 17 (1969), H. 6, S. 303–305

DK 621.187.3.004.5

Neuberger, G. : **Komplexe Reaktivmittel für Säuberung der Innenflächen von Kesseln**

Es werden Vor- und Nachteile komplexer Reaktivmittel, unter Hinweis auf Anwendungsmöglichkeiten derselben, untersucht.

Energetica 17 (1969), H. 6, S. 305–309

SOMMAIRE

CD 621.311.22 : 004.15

Radu-Cernea, A. et *Trifu, C.* : **Etude de la balance éxergetique d'un groupe de 200 MW**

Voici la balance éxergetique des éléments d'un groupe de 200 MW ainsi que des considérations sur l'utilité de ces balances, à savoir la mise en évidence d'une série de pertes qui ne sont pas indiquées par les balances énergetiques comme, par exemple, les pertes par irréversibilité de la combustion dans le foyer de la chaudière ou les pertes dûes à l'irréversibilité de l'échange de chaleur dans la chaudière et le circuit thermique.

Energetica 17 (1969), no. 6, p. 265–269

CD 621.316.13 : 621.3.015.3.001.24

Semlyen, A. : **Contributions au calcul des surtensions de commutation pour lignes de haute tension**

Il s'agit d'une méthode servant à déterminer avec plus de précision les surtensions de commutation, à base d'une analyse de la programmation des ondes rectangulaires sur lignes triphasées de haute tension.

Energetica 17 (1969), no. 6, p. 269–278

CD 621.311.1.027.8.018.3

Bensimon, A. : **L'analyse des possibilités de formation de surtensions de résonance harmonique dans des réseaux à très haute tension**

Etude des amplifications ou aténuations produites par la transmission des oscillations harmoniques sur des lignes électriques longues. Valeurs maximum possibles.

Energetica 17 (1969), no. 6, p. 279–288

CD 537.31 : 621.311.1

Adămuț, I. : **Investigation des processus de propagation sur les lignes électriques longues avec pertes, à l'aide de la méthode des différences finies, avec référence aux calculateurs analogiques**

On présente les équations de propagation classiques et généralisées de 1-er et 2-ème ordre. On donne des indications sommaires sur le mode d'application de la méthode des différences finies aux lignes électriques. On établi les équations et on présente les modèles analogiques pour les différences finies simples et les différences finies améliorées. On compare les différentes possibilités de résoudre les équations par cette voie.

Energetica 17 (1969), no. 6, p. 289–296

CD 621.3.02.25 : 621.317.785.5/6 : 621.3.015.3

Goldenberg, R. et *Radu, N.* : **Compteur de surtensions dans les réseaux de moyenne tension**

Energetica 17 (1969), no. 6, p. 297–303

LE TRAITEMENT DE L'EAU DANS LES CENTRALES THERMIQUES

CD 621.311.22 : 621–713 : 628.16

Şuşman, C. : **Indicateurs de qualité de l'eau de refroidissement**

Un examen des problèmes complexes soulevés par l'utilisation de l'eau de refroidissement des échangeurs de chaleur et de la nécéssité d'établir des indicateurs de qualité pour obtenir la propreté des surfaces, tout en évitant les dépôts, les corrosions et le développement d'organismes.

Energetica 17 (1969), no. 6, p. 303–305

CD 621.187.3.004.5

Neuberger, G. : **Réactifs complexants pour nettoyage des surfaces intérieures des chaudières**

L'auteur indique les avantages et les désavantages des réactifs complexants, en soulignant les aspects concernant les possibilités d'application et les domaines d'utilisation de ces substances.

Energetica 17 (1969), no. 6, p. 305–309

CONTENTS

DC 621.311.22 : 004.15

Radu-Cernea, A. and *Trifu, C.* : **A study of the exergetic balance of a 200 MW set**

The authors present the exergetic balance of the 200 MW set and stress the utility of this type of balance, i.e. it shows a series of losses not included in power balances such as, for example, losses through combustion irreversibility in the combustion chamber of the boiler or those due to the irreversibility of heat exchange in the boiler and the heat cycle.

Energetica 17 (1969), nr. 6, p. 265–269

DC 621.316.13 : 621.3.015.3.001.24

Semlyen, A. : **Some contributions to the calculation of switching over-voltages, in h.v. lines**

Here is a method used to establish with more precision switching over-voltages, based on the analysis of the programming of rectangular waves on three-phase h.v. lines.

Energetica 17 (1969), nr. 6, p. 269–278

DC 621.311.1.027.8.018.3

Bensimon, A. : **The analysis of the possible occurence of harmonic resonance over voltage in very high voltage networks**

A study of the amplifications or attenuations occuring at the transmission of harmonic oscillations on long power lines of maximum possible values.

Energetica 17 (1969), nr. 6, p. 279–288

DC 537.31 : 621.311.1

Adămuț, I. : **The investigation of propagation processes along long power transmission lines with losses, by means of the method of finite differences, with reference made to analog computers**

Classical and generalized propagation equations of the 1-st and 2-nd order are presented in this article, accompanied by short indications on the application of the method of finite differences to power transmission lines. Equations are established and analog models are shown for simple finite differences and for improved finite differences. A comparison follows between the various possible solutions for solving equations in this way.

Energetica 17 (1969), nr. 6, p. 289–296

DC 621.3.02.25 : 621.317.785.5/6 : 621.3.015.3

Goldenberg, R. and *Radu, N.* : **Over-voltage meter for medium-voltage networks**

Energetica 17 (1969), nr. 6, p. 297–303

WATER TREATMENT IN THERMAL POWER STATIONS

DC 621.311.22 : 621–713 : 628.16

Şuşman, C. : **Quality indicators for feed water**

This is an examination of the complex problems raised by the use of cooling water from heat exchangers and the need to establish some quality indicators, to obtain clean surfaces and avoid deposits, corrosions and organism growth

Energetica 17 (1969), nr. 6, p. 303–305

DC 621.187.3.004.5

Neuberger, G. : **Complexant reagents for cleaning the insides-faces of boilers**

This article points out the advantages and disadvantages of complexant reagents while stressing some aspects dealing with the possibility of application of the reagents.

Energetica 17 (1969), nr. 6, p. 305–309

Studiul bilanțului exergetic al blocului de 200 MW

Prof. dr. ing. **A. Radu-Cernea**
și ing. **C. Trifu** *)

Introducerea bilanțurilor exergetice este determinată de necesitatea elaborării unor criterii mai complete pentru aprecierea unor procese termice, pentru caracterizarea unor instalații sau părți de instalație, pentru depistarea în ultimă instanță a surselor de pierderi, a cauzelor apariției acestora. Se obține prin aceasta, totodată, posibilitatea comparării între ele a diferitelor soluții tehnice din domeniul energetic.

Întocmirea bilanțului exergetic al unui bloc cazan-turbină constă din însumarea în procente, pe de o parte, a pierderilor de exergie în elementele principale ale blocului (cazan — turbină, condensator, circuit termic etc.), iar pe de altă parte a exergiilor utile.

Pentru compararea datelor obținute și construirea diagramei fluxurilor exergetice, este necesar totdeauna să se întocmească și bilanțul energetic al blocului.

În calculul bilanțului exergetic al unui bloc trebuie acordată atenție următoarelor aspecte :

a) Temperatura mediului ambiant ar trebui considerată aceeași la toate bilanțurile parțiale. Deoarece, însă, calculul termic de proiectare a cazanului se face pe baza unei temperaturi de admisie a aerului diferită de temperatura apei de răcire din condensator, se utilizează temperaturi diferite în calculul bilanțului exergetic al cazanului și în calculul bilanțului exergetic al turbinei și condensatorului. Aceasta nu afectează bilanțul exergetic al blocului, deoarece energiile obținute în cazan se calculează făcîndu-se diferența dintre exergiile gazelor arse și exergiilor apei-aburului, încît originea de calcul a exergiei devine indiferentă.

b) Bilanțurile exergetice parțiale ale cazanului, ale turbinei cu abur, ale condensatorului etc. trebuie să se refere la același debit de apă-abur. De obicei însă, între debitul nominal al cazanului și debitul nominal al turbinei există diferențe. De aceea, pentru a racorda bilanțul exergetic al turbinei de bilanțul exergetic al cazanului, trebuie recalculată exergia combustibilului consumat orar pentru producerea debitului nominal de abur al turbinei, la care se adaugă pierderile din circuit.

Pentru întocmirea bilanțului exergetic al blocului, sînt necesare următoarele date preliminare :

— calculul termic al cazanului, pe circuitul gazelor de ardere și pe circuitul apă-abur ;

— destinderea reală a aburului pe treptele turbinei sau parametrii aburului (presiune, temperatură, entalpie), la toate punctele de extracție a aburului din turbină ;

— calculul circuitului termic în ipoteza regimului nominal de funcționare.

1. Datele generale ale bilanțului energetic al blocului de 200 MW

Blocul de 200 MW este format din turbina cu condensație de 200 MW, tip PVK-200-1, și cazanul cu circulație forțată de 640 t/h, tip PK-47-3.

Blocul funcționează cu combustibil gazos ($H_i = 8281$ kcal/Nm^3) și produce abur la parametrii 140 at, 575/575°C (la cazan). Debitul de abur viu, corespunzător puterii de 202 MW, este de 566 tf/h. Consumul de combustibil pentru această putere este de $53 \cdot 10^3$ Nm^3/h.

Calculul circuitului termic al blocului pentru puterea de 202 MW, conform figurii 1, și calculul termic al cazanului la debitul de abur de 640 tf/h au fost date prin proiectul întocmit de constructor.

Cazanul este prevăzut cu supraîncălzire intermediară ; de aceea, în text se vorbește de

*) Prof. dr. ing. A. Radu-Cernea este șeful catedrei de termotehnică și mașini termice din Institutul de petrol, gaze și geologie ; ing. Constanța Trifu este șef de proiect complex la ISPE.

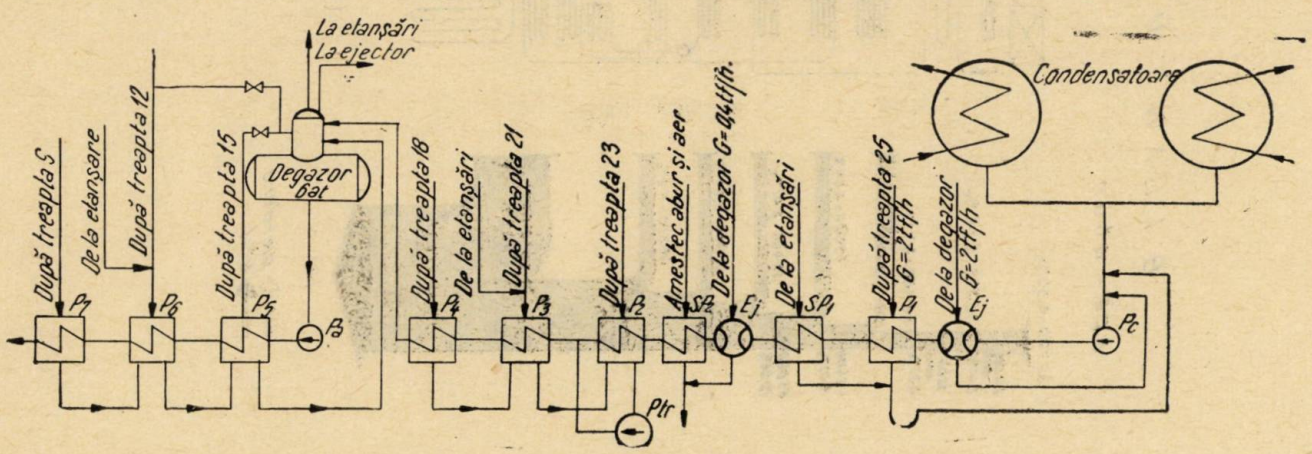


Fig. 1

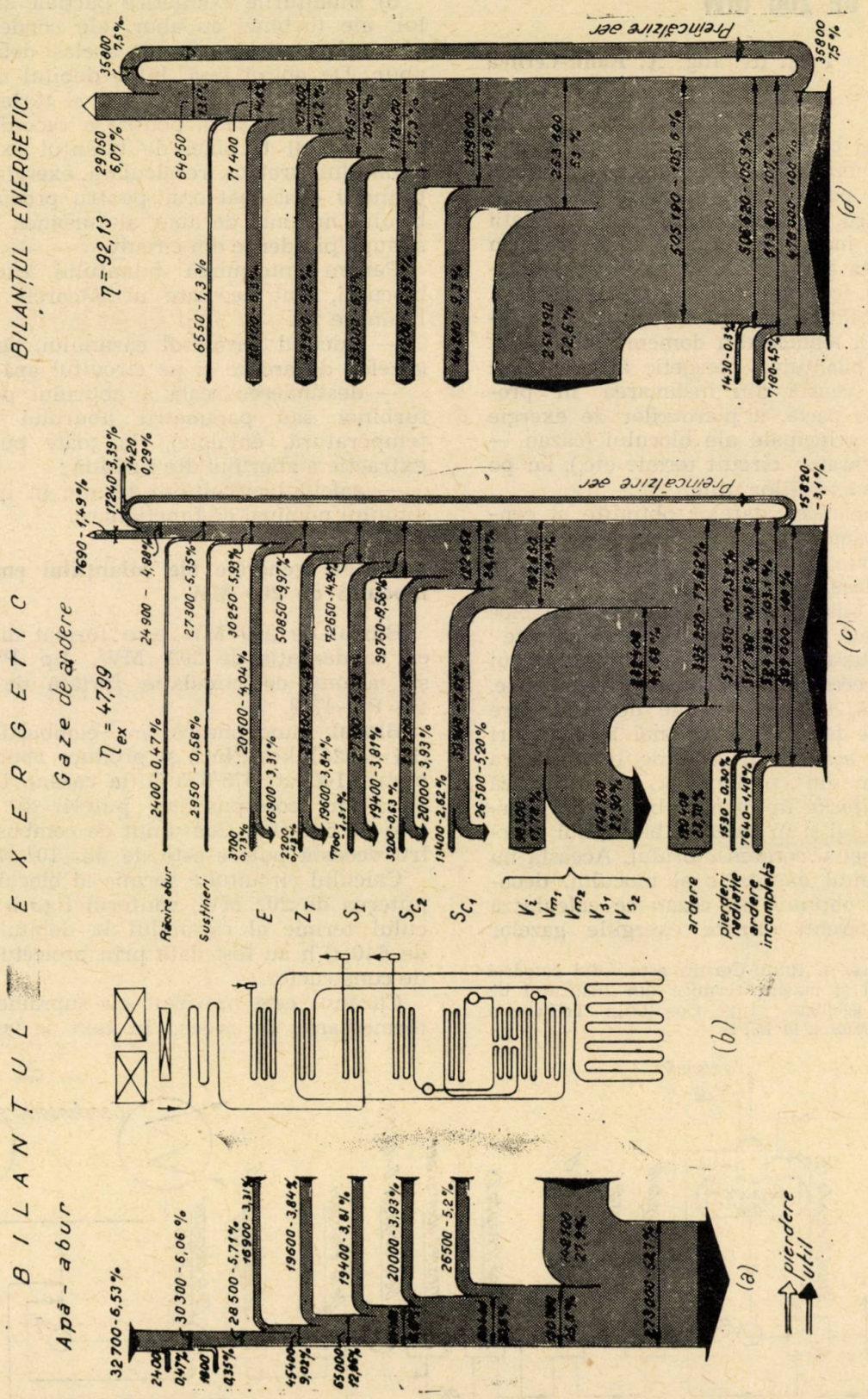

BILANȚUL EXERGETIC
Apă - abur
Gaze de ardere
BILANȚUL ENERGETIC
Răcire abur
Susțineri
E
ardere
pierderi radiație
ardere incompletă
pierdere util
Preîncălzire aer
(a)
(b)
(c)
(d)

Fig. 2

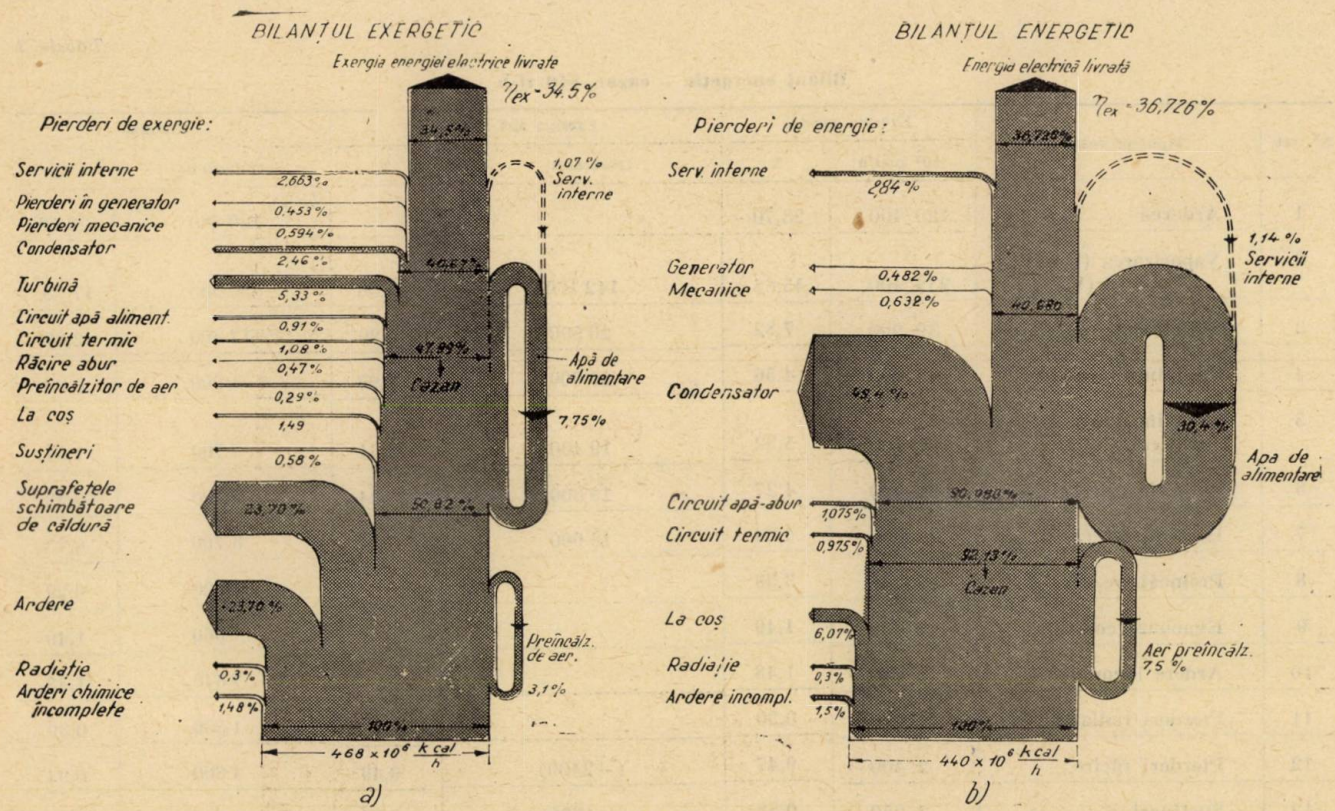


Fig. 3

traseul I și traseul II, corespunzător traseului aburului primar (viu) și supraîncălzit intermediar. Presiunea de supraîncălzire intermediară pentru debitul nominal este de 23,9/21,4 at. Temperatura apei de alimentare rezultată din calculul circuitului termic pentru debitul de 566 tf/h este de 230°C. Debitul de apă de răcire este de 25 000 m³/h, iar temperatura apei de răcire la intrarea în condensator este de 10°C.

Bilanțul energetic al blocului, rezultat din însumarea bilanțurilor energetice ale părților componente — cazan, turbină, circuit termic etc. — s-a întocmit pe baza datelor specificate mai sus.

Bilanțul energetic al cazanului pune în evidență randamentul energetic al cazanului, de 92,13% (fig. 2, *d*).

Diagrama fluxurilor energetice (fig. 3, *b*), construită pe baza datelor procentuale, arată că randamentul energetic al blocului de 200 MW este de 36,726%.

2. Bilanțul exergetic al blocului de 200 MW

La baza întocmirii bilanțului exergetic pe bloc, bilanț rezultat din însumarea bilanțurilor parțiale ale elementelor componente ale blocului, au stat datele bilanțului energetic și diagramele exergetice pentru apă-abur și gaze.

2.1. *Bilanțul exergetic al cazanului*

Bilanțul exergetic al cazanului s-a întocmit pentru debitul de abur de 640 tf/h și consumul corespunzător de combustibil de 57,700 Nm³/h, la puterea calorifică superioară a acestuia de 9291 kcal/Nm³.

Pentru întocmirea bilanțului exergetic al cazanului s-au calculat :

— exergia gazelor rezultate din ardere ;

— exergia în circuitul apă-abur.

Pe baza acestor date s-au trasat diagramele fluxurilor exergetice pentru circuitul apă-abur (fig. 2, *a*) și pentru circuitul gazelor de ardere (fig. 2, *c*).

Datele bilanțului exergetic al cazanului sînt centralizate în tabela 1.

Se constată că randamentul exergetic al cazanului este de 47,99%, adică practic 1/2 din randamentul lui energetic (92,13%). Aceasta se explică prin pierderile mari de exergie datorită ireversibilităților arderii (23,70%) și schimbului de căldură (~ 25%).

2.2. *Bilanțul exergetic al turbinei.* Exergia totală a căldurii introduse în turbină cu aburul viu și aburul supraîncălzit intermediar se regăsește în :

— exergia energiei electrice ;

— exergia cedată de aburul din prizele turbinei circuitului regenerativ ;

— anergia (pierderea de exergie) la condensator ;

Tabela 1

Bilanț energetic — cazan 640 tf/h

Nr. crt.	Tipul procesului	Exergia gazelor		Exergia apă-abur		Anergia	
		[10^3 kcal/h]	%	[10^3kcal/h]	%	[10^3kcal/h]	%
1	Arderea	120 400	23,70			120 400	23,70
2	Vaporizarea (V_i) (V_m) (V_s)	232 400	45,68	142 100	27,90	90 300	17,78
3	Supraîncălzirea (S_{C1})	39 900	7,82	26 500	5,20	13 400	2,62
4	Supraîncălzirea (S_{C2})	23 200	4,56	20 000	3,93	3 200	0,63
5	Supraîncălzire intermediară (S_I)	27 100	5,32	19 400	3,81	7 700	1,51
6	Zona de trecere (Z_T)	21 800	4,27	19 600	3,84	2 200	0,43
7	Economizor (E)	20 600	4,04	16 900	3,31	3 700	0,73
8	Preîncălzire aer (P_A)	17 240	3,39			1 420	0,29
9	Evacuare coș	7 660	1,49			7 660	1,49
10	Ardere incompletă	7 640	1,48			7 640	1,48
11	Pierderi radiație	1 530	0,30			1 530	0,30
12	Pierderi răcire	2 400	0,47	(−2400)	0,49	4 800	0,94
13	Susțineri	2 950	0,58	(−1800)	0,35	4 750	0,93
	Total: exergia comb.+ + exergia aerului cald	509 000 524 820	100,00 103,10	Total exergie abur 244.500 − 4.200 = = 240.300	47,17	Total anergie produsă: 268.7000	52,83

— anergia în turbină.

La baza calculului exergetic al turbinei au stat datele rezultate din calculul circuitului termic și diagramele exergetice apă-abur.

Datele bilanțului exergetic al turbinei sînt prevăzute în tabela 2. Procentele reprezintă raportul dintre exergiile calculate în diferite puncte și exergia combustibilului introdus în focarul cazanului (468×10^6 kcal/h).

Întrucît exergia energiei electrice este egală cu însăși energia electrică, se apreciază că pierderile în generator, pierderile mecanice și consumul de energie electrică pentru serviciile interne sînt aceleași ca și în bilanțul energetic.

Pierderea de exergie în circuitul termic se calculează ca diferență între exergia intrată în acest circuit și exergia apei de alimentare la întoarcerea în cazan.

În tabela 3 sînt centralizate toate datele rezultate din bilanțurile exergetice parțiale pe baza cărora s-a întocmit diagrama fluxurilor exergetice din figura 3, a.

Tabela 2

Bilanțul exergetic al turbinei K−200−130

Nr. crt.	Exergia	Unitatea de măsură [10^6 kcal/h]	[%]
1	La intrarea în turbină	257,00	54,84
2	Necesară producerii energiei electrice	179,00	38,21
3	Cedată circuitului termic	41,48	8,84
4	Pierdută în condensator	11,52	2,46
5	Pierdută în turbină	25,00	5,33

Concluzii

Bilanțurile exergetice scot în evidență o serie de pierderi pe care bilanțurile energetice nu le arată, cum sînt de pildă pierderile prin ireversibilitatea arderii în focarul cazanului sau pierderile datorite ireversibilității schimbului de căldură în cazan și în circuitul termic.

Studiul bilanțului exergetic al cazanului pune în evidență că suma pierderilor datorită ireversibilității arderii și schimbului de căldură este de circa 46%. Din bilanțul exergetic al turbinei rezultă că pierderile în partea paletată a turbinei sînt destul de mari (5,33%).

Tabela 3

Bilanțul exergetic al blocului de 200 MW

Nr. crt.	Agregat	Sursa pierderii	Pierderi de exergie [10^3 kcal/h]	Pierderi de exergie [%]
1	Cazan	Ardere chimică incompletă	6 930	1,480
2	Cazan	Ireversibilitatea arderii	110 650	23,700
3	Cazan	Radiație	1 400	0,300
4	Cazan	Suprafețe de schimb de căldură	113 500	24,280
5	Cazan	Răcitor de abur	2 200	0,470
6	Cazan	Preîncălzitor de aer	1 350	0,290
7	Cazan	Coș	6 970	1,490
8	Circuit apă-abur		4 260	0,910
9	Turbină	Turbină	25 000	5,330
10	Turbină	Condensator	11 520	2,460
11	Turbină	Pierderi mecanice	2 780	0,594
12	Turbină	Generator	2 120	0,453
13	Circuit termic		5 220	1,080
14	Servicii interne		12 500	2,663
Total pierderi			306 400	65,500
15	Căldură pentru energia electrică		161 600	34,500
Total general			468 000	100,000

O categorie de pierderi care capătă comparativ o însemnătate mult mai mică sînt pierderile la condensator (2,46%). Din aceste pierderi s-ar putea recupera, prin folosirea unui schimbător de căldură perfecționat, maximum 1,7%. Exergia cedată apei de răcire — anergia (0,76%) — este fizic condiționată de proces și nu constituie o pierdere propriu-zisă.

Stabilirea mărimii și sursei pierderilor constituie un fapt foarte important pentru proiectarea utilajelor. Calculele exergetice au determinat de exemplu ca în Franța să se proiecteze un cazan în care preîncălzitorul de aer este scos în afara cazanului și preîncălzirea aerului se face cu abur, iar în locul acestuia s-au introdus schimbătoare de căldură pentru apa de alimentare. Se obține în acest mod o micșorare a exergiei pierdute prin suprafețele schimbătoare de căldură. Deci aplicarea calculelor exergetice indică proiectanților de utilaje și de centrale punctele în care pot acționa pentru micșorarea pierderilor de exergie.

Notații

E — economizor ;
P_{A1}, P_{A2} — preîncălzitor ;
S_{C1}, S_{C2} — supraîncălzitor de convecție ;
S_I — supraîncălzitor intermediar ;
V_i — fascicolul de vaporizare inferior ;
V_{m1}, V_{m2} — fascicolele de vaporizare medii ;
V_{s1}, V_{s2} — fascicolele de vaporizare superioare ;
Z_T — zonă de trecere.

—— o ——

Contribuții la calculul supratensiunilor de comutație la linii de înaltă tensiune

Dr. ing. A. Semlyen *)

Importanța cunoașterii mărimii supratensiunilor de comutație a crescut prin construirea și răspîndirea liniilor de transport de foarte înaltă tensiune. Problema este însă complexă, datorită multor cauze, dintre care vom sublinia în mod deosebit conectarea și deconectarea nesimultană a celor trei poli la întrerupătoare. De aceea, modelul matematic sau fizic al sistemului trebuie să fie neapărat trifazat, rezultînd ca principale mijloace de investigație :

— calculatorul numeric,
— analizorul tranzitoriu de rețea.

Fenomenele de propagare pe linii, ținînd seama și de influența pămîntului, au fost studiate de circa patru decenii, începînd cu Carson [1], [2], [3]. S-a obținut, în funcție de frecvență, impedanță echivalentă suplimentară, rezultată din influența solului, pentru o buclă conductor-pămînt. Au rămas însă nerezolvate următoarele probleme :

— determinarea coeficienților de propagare pe linii trifazate a undelor staționare sinusoidale, în funcție de frecvență,
— aplicarea acestora la studiul fenomenelor tranzitorii de comutație nesimultană pe faze.

*) Dr. ing. A. Semlyen este profesor la Institutul politehnic Timișoara.

Prezentarea unor contribuții în rezolvarea acestor probleme formează obiectul acestui articol.

De la început se subliniază necesitatea trecerii din domeniul variabilei ω (frecvență), în care există rezultate publicate cu privire la fenomenele de propagare pe linii monofazate și trifazate, în domeniul variabilei t (timpul), care permite urmărirea desfășurării succesive a reflectării undelor la capetele liniei și a influenței oricăror efecte programate sau întîmplătoare din noduri (deschiderea sau închiderea polilor unui întrerupător, unde incidente de la alte linii ș.a.). Transformarea respectivă duce la o integrală de convoluție, tip Duhamel [4], în care apare o funcție de transfer [5] drept un factor de transfer „tranzitoriu" care reprezintă forma la sosire, la capătul îndepărtat, a unei unde emise dreptunghiulare (treaptă-unitară). În felul acesta se ajunge la o generalizare a metodei Bergeron [6], [7], obținîndu-se rezultate mai exacte prin considerarea deformării undelor de tensiune care parcurg linia. Integrala de convoluție se pretează la calcule numerice cu calculatoarele electronice.

În cazuri mai simple, tensiunea rezultantă funcție de timp poate fi calculată direct, fără integrale de convoluție, efectuînd transformarea inversă Fourier [8].

Pentru rezolvarea problemei schițate a fost necesar să se facă precizări privind propagarea undelor sinusoidale pe linii trifazate :

— s-a subliniat că modurile naturale („natural modes") se determină prin diagonalizarea matricei constantelor de propagare]9],]10] și nu a matricei impedanțelor de undă, după cum s-a afirmat de unii autori]11],]12];

— s-au indicat, pentru cazul unei linii cu fazele extreme simetrice față de cea centrală, relații de calcul simplificat pentru constantele de propagare modale, funcție de frecvență [13], dezvoltate din datele privitoare la influența pămîntului, date de Carson [1], [14];

— s-a arătat că la o linie trifazată funcțiile de transfer pentru unde de tensiune emise sub formă de treaptă unitară formează o matrice; pentru determinarea elementelor acestora se calculează în prealabil funcțiile de transfer modale din constantele de propagare, funcție de frecvență, amintite mai sus;

— se remarcă faptul că undele trec, practic, fără fenomene de reflectare prin locurile de transpunere; se produce însă o convertire a modurilor și rezultă o nouă matrice a funcțiilor de transfer, astfel că linia transpusă poate fi tratată similar ca un singur tronson.

Cum problemele și noțiunile amintite sînt, în parte, noi, metodica schițată mai sus necesită lămuriri. Acestea vor fi date în cadrul dezvoltărilor de detaliu.

Posibilitatea aplicării metodei este condiționată de cunoașterea datelor privind reflectarea undelor în noduri. După indicarea acestora, se prezintă forma integralei de convoluție ca o sumă de diferențe finite, precum și algoritmul de calcul pentru un calculator numeric. Pentru ilustrare, se prezintă diagrama de variație a unei tensiuni la punerea sub tensiune a unei linii trifazate obținută prin calculul mai exact prezentat în această lucrare, în comparație cu cea obținută prin aplicarea obișnuită a metodei Bergeron.

1. Înlocuirea undelor sinusoidale cu unde dreptunghiulare. Prezența liniilor de înaltă tensiune în sistemele electrice permite o simplificare esențială la studiul fenomenelor tranzitorii complexe, care se desfășoară la majoritatea proceselor de comutație. Această simplificare rezultă din faptul că liniile separă în timp nodurile sistemului, deoarece undele călătoare au un timp de parcurs finit, de ordinul a 1 ms. Calculul poate fi efectuat pas cu pas, variabila independentă fiind timpul. În momentul de calcul, denumit convențional „prezent", în fiecare nod sosesc unde de tensiune cunoscută din nodurile vecine, deoarece aceste unde au fost emise în momente premergătoare, din „trecut", pentru care calculele sînt deja încheiate. Situația este redată schematic în figura 1 pentru un nod oarecare,

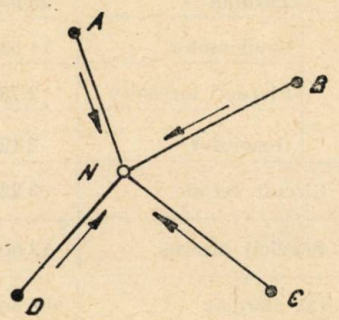


Fig. 1. Sistemul complex se descompune în tot atîtea rețele parțiale cîte noduri are sistemul, fiecare rețea parțială cuprinde nodul studiat N și liniile de legătură la nodurile vecine $A...D$. Undele emise din aceste noduri au fost determinate în momente anterioare. În momentul de calcul, orice efect nou în N (de exemplu o comutare) poate fi luat în considerare.

în momentul de calcul. Undele incidente fiind cunoscute, se calculează undele reflectate, corespunzător cu starea de comutație din nodul considerat. Cînd calculul a fost efectuat pentru toate nodurile, se face un nou pas Δt și se reia calculul, valorificînd în noul „prezent" și datele obținute în „trecutul apropiat".

Metoda Bergeron [7] indică modul concret de lucru, pe baza unei reprezentări grafice, așa-numita metodă a caracteristicilor [18], sau prin programarea corespunzătoare a unui calculator [16]. La efectuarea unui calcul concret apar însă dificultăți, prin faptul că nu există nici o indicație cu privire la alegerea vitezei și amortizării undelor dreptunghiulare. Din acest motiv, de obicei, se aleg anumite viteze fixe (de exemplu 300 000 km/s pentru unde

Tabela 1

Corespondența prin transformare Fourier

Nr. crt.	Funcția d ω	Funcția de t	Relația de transformare	Nr. relației	Explicații
1	Φ	φ	$\varphi(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\omega) e^{j\omega t}\, d\omega$ $\Phi(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) e^{-j\omega t}\, dt$	(1) (2)	Operațiile de bază
2	Φ_1 Φ_2 $\Phi = \Phi_1\Phi_2$	φ_1 φ_2 φ	$\varphi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_1(\theta)\varphi_2(t-\theta)\, d\theta$	(3)	Relația (3) exprimă o integrală de convoluție (Borel)
3	$\frac{\overline{F}}{j\omega}$ $\overline{U}_A$ $\overline{U}_B = \overline{F}\ \overline{U}_A$	f u_A u_B	$u_B(t) = \frac{d}{dt}\int_0^t f(\theta) u_A(t-\theta)\, d\theta =$ $= f(t)u_A(0) + \int_0^t f(\theta) u_A'(t-\theta) d\theta$	(4)	F — factorul de propagare de la A la B al undei sinusoidale. f — funcția de transfer a tensiunii treaptă-unitară. Integrala (Duhamel) de convoluție (4) exprimă legătura între u_B și u_A prin intermediul funcției de transfer $f(t)$.

fără întoarcere prin pămînt și 200 000 km/s pentru unde cu întoarcere prin sol) și se neglijează amortizarea. O asemenea alegere se poate explica prin aceea că datele privind propagarea undelor sînt determinate experimental sau prin calcul [13] de cele mai multe ori pentru unde staționare, sinusoidale. Se cunosc așadar constantele de propagare funcție de frecvență și se pune problema de a determina, folosind metoda undelor, variația în timp a unei tensiuni la capătul de sosire B al liniei, fiind dată variația în timp a tensiunii undei emise la capătul A al liniei.

Dezvoltările care urmează se bazează pe folosirea integralei Duhamel [4] sau de convoluție (a se vedea tabela 1 și figura 2, precum și unele

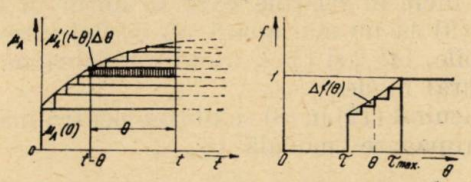


Fig. 2: u_A — tensiunea emisă, descompusă în trepte de tensiune $u_A'(t-\theta)\,d\theta$, emise la timpul $t-\theta$.
f — funcția de transfer, care în momentul $\theta > \tau$ (= timpul de parcurs al liniei de către frontul undei) exprimă cît dintr-o tensiune unitară emisă la $t-\theta$ apare în momentul t la sfîrșitul liniei.

explicații din anexele 1 și 2). Sub o formă generală, semnificația unei integrale de convoluție este dată la poziția 2 din tabela 1, iar forma concretă sub care se aplică la problema propagării undelor este prezentată la poziția 3 din tabela 1. Dezvoltînd metoda de calcul în continuare, se obține pentru o creștere a tensiunii incidente

$$\Delta u_B = \Delta f(t)u_A(0) + \int_0^t \Delta f(\theta) u_A'(t-\theta) d\theta, \qquad (5)^*$$

sau sub forma unei sume:

$$\Delta U_B(t) = \sum_{\theta=\tau}^{\theta+\tau max} \Delta f(\theta) \cdot \Delta u_A(t-\theta) \qquad (6)$$

În relația (6) și termenul $\Delta f(t)\, u_A(0)$ din (5) este inclus în însumare. Din această expresie rezultă că o creștere Δu_B a tensiunii la capătul îndepărtat al liniei în momentul t rezultă ca o sumă a unor creșteri de tensiune provocate de unde incidente în momentul t, însă emise în momente anterioare diferite, $t-\theta$; $\Delta f(\theta)$ exprimă un increment de tensiune în B în momentul t, corespunzătoare unei tensiuni de treaptă unitară, emisă din A în momentul $t-\theta$.

Integrala de convoluție (4) corespunde în domeniul variabilei t unui produs (vezi tabela 1):

$$\overline{U}_B = \overline{F}\cdot\overline{U}_A$$

din domeniul variabilei ω. Acest produs exprimă tensiunea sinusoidală incidentă $\overline{U}_B$, funcție de tensiunea sinusoidală emisă $\overline{U}_A$. Coeficientul $\overline{F}$ este un factor complex de propagare.

$$\overline{F} = e^{\overline{\gamma} l},$$

exprimat prin constanta de propagare $\overline{\gamma}$ și lungimea l a liniei.

* Primele patru relații apar în tabela 1.

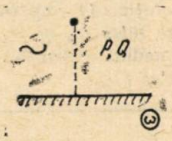
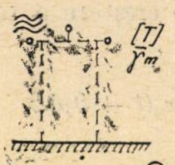
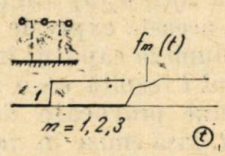
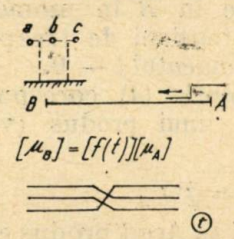
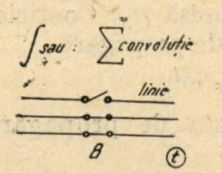
Se remarcă faptul că funcţia de transfer este transformată, conform relaţiei (1) a expresiei $\frac{\overline{F}}{j\omega}$:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\overline{F}(\omega)}{j\omega} e^{j\omega t}\, d\omega. \qquad (7)$$

Deoarece valoarea particulară a tensiunii emise $\overline{U}_A = \frac{1}{j\omega}$, rezultă, prin transformarea unei tensiuni u_A de treaptă unitară, că $f(t)$ are semnificaţia funcţiei de transfer a tensiunii treaptă unitară.

Tabela 2

Reprezentarea schematică a problemelor de parcurs pentru calculul unor fenomene complexe de comutaţie

Nr. crt.	Schema	Indicaţii
1		Se cunosc coeficienţii de corecţie P, Q ai lui Carson, funcţie de frecvenţă.
2		Se determină matricea de transformare $[T]$ din cele trei mărimi de fază în trei mărimi modale. În cazul unei linii simetrice faţă de conductorul central, rezultă matricea Clarke, iar constantele de propagare modale $\overline{\gamma}_m$ se pot calcula funcţie de frecvenţă.
3		Pentru cele trei moduri naturale se determină funcţiile de transfer modale f_1, f_2, f_3, funcţii de timp.
4		Din funcţiile de transfer modale se calculează matricea de transfer $[f]$, pentru tensiuni de fază; elementele ei sînt funcţii de timp. Calculele se completează pentru a include influenţa transpunerilor.
5		Supratensiunile se calculează cu o sumă de convoluţie, folosind matricea de transfer $[f]$ şi ţinînd seama de condiţiile de reflexie din noduri.

Prezentarea de mai sus a scos în evidenţă necesitatea efectuării unei transformări din domeniul variabilei ω în cel al variabilei t. Treptele intermediare care trebuie parcurse şi care vor fi descrise în paragrafele următoare sînt indicate în tabela 2.

2. Transformarea în moduri natu ale la linii simetrice faţă de conductorul central. În regim staţionar ecuaţiile de propagare pentru cele trei faze se scriu concentrat, matricial, astfel:

$$-\frac{d[\overline{U}]}{dx} = [\overline{Z}]\,[\overline{I}],$$

$$-\frac{d[\overline{I}]}{dx} = [\overline{Y}]\,[\overline{U}],$$

sau eliminînd una din variabile:

$$\frac{d^2[\overline{U}]}{dx^2} = [\overline{Z}]\,[\overline{Y}]\,[\overline{U}],$$

$$\frac{d^2[\overline{I}]}{dx^2} = [\overline{Y}]\,[\overline{Z}]\,[\overline{I}], \qquad (8)$$

$$[\overline{U}] = ([\overline{Z}]\,[\overline{Y}]^{-1})^{1/2}\,[\overline{I}]. \qquad (9)$$

În aceste relaţii intervin matricile nediagonale $[\overline{\gamma}_U]$ şi $[\overline{\gamma}_I]$ ale constantelor de propagare şi ale impedanţelor caracteristice $[\overline{z}]$:

$$[\overline{\gamma}_U]^2 = [\overline{Z}]\,[\overline{Y}],$$

$$[\overline{\gamma}_I]^2 = [\overline{Y}]\,[\overline{Z}], \qquad (10)$$

$$[\overline{z}]^2 = [\overline{Z}]\,[\overline{Y}]^{-1}. \qquad (11)$$

Datorită faptului că aceste matrici sînt nediagonale, în relaţiile (8) şi (9) apar cuplaje între faze, ceea ce îngreuiază rezolvarea lor. De aceea este indicat să se aplice o transformare de variabile

$$[\overline{U}] = [\overline{T}_U]\,[\overline{U}_m].$$

$$[\overline{I}] = [\overline{T}_I]\,[\overline{I}_m], \qquad (12)$$

astfel încît în relaţiile care se obţin în loc de (8) şi (9) să nu mai apară un cuplaj între noile variabile, $[\overline{U}_m]$ şi $[\overline{I}_m]$, numite moduri naturale („natural modes").

Înlocuind (12) în (8) se obţine pentru matricea de propagare modală $[\overline{\gamma}_m]$:

$$[\overline{\gamma}_m]^2 = [\overline{T}_U]^{-1}[\overline{Z}]\,[\overline{Y}]\,[\overline{T}_U] =$$

$$= [\overline{T}_I]^{-1}\,[\overline{Y}]\,[\overline{Z}]\,[\overline{T}_I].$$

Această matrice trebuie să fie diagonală. Ea este formată din valorile proprii ale matricilor (10), iar matricile de transformare $[\overline{T}_U]$ şi $[\overline{T}_I]$ se formează cu vectorii proprii. Se poate arăta [21] că în mod automat şi impedanţa caracteristică modală $[\overline{z}_m]$, dată de expresia

$$[\overline{z}_m] = [\overline{T}_U]^{-1}\,[\overline{z}]\,[\overline{T}_I],$$

rezultă diagonală.

Trebuie subliniat, însă, că, în general, este greşit şi nejustificat să se diagonalizeze întîi matricea $[\bar{z}]$ a impedanţei de undă, dată de (11), calculîndu-i valorile proprii. Această eroare apare pe alocuri în literatură [11] şi există posibilitatea ca uneori să rămînă neobservată [12]. Cauza constă în faptul că nu este uşor să se considere influenţa pămîntului în expresia impedanţelor longitudinale $[\bar{Z}]$, din (10). De aceea linia se consideră fără pierderi în calcule, iar constantele de propagare se determină experimental [19]. Considerînd însă linia fără pierderi, produsul $[\bar{Z}]\,[\bar{Y}]$ din (8) va fi o matrice diagonală; prin urmare nu poate servi la calculul matricilor de transformare [10]. De aceea, în mod greşit, acestea se calculează din impedanţa caracteristică (11). Dacă linia ar fi într-adevăr fără pierderi, orice transformare ar fi bună şi modurile naturale ar fi nedeterminate; în realitate, însă, undele fiind amortizate, modurile naturale trebuie să rezulte din constantele de propagare (10). De aici rezultă şi necesitatea determinării acestora prin calcule.

Calculul constantelor de propagare modale este indicat în [20] şi [9]. Relaţii generale sînt date în [13] pentru cazul important al unei linii avînd două conductoare simetrice faţă de conductorul central, respectiv pentru cazul particular al unei linii cu dispoziţia orizontală a conductoarelor. În această situaţie se încadrează toate liniile de 220 şi 400 kV din R. S. România şi majoritatea liniilor de foarte înaltă tensiune din alte ţări. În special în cazul coronamentului

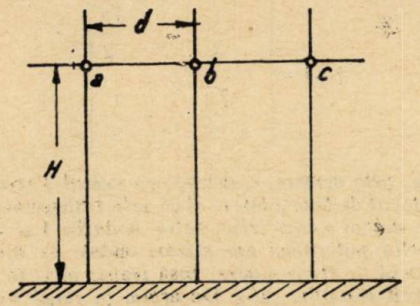


Fig. 3. Linie avînd conductoarele dispuse în plan orizontal.

orizontal (fig. 3) există posibilitatea urmăririi uşoare a fenomenelor.

O primă constatare utilă rezultă din examinarea particularităţii de simetrie la dispoziţia conductoarelor: ea atrage atenţia asupra oportunităţii unei transformări în componente Clarke (α, β, 0) cu matricea

$$[T_{\alpha\beta 0}] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \qquad (13)$$

Se remarcă din (13) că faza centrală are o situaţie preferenţiată, de simetrie, faţă de fazele extreme. Astfel:

— un curent de componentă α are faza centrală drept conductor de dus şi fazele extreme drept conductor de întors; acest curent are acelaşi caracter de simetrie ca şi linia;

— un curent de componentă β are drept conductoare de dus şi de întors conductoarele extreme ale liniei; acest curent are caracter de nesimetrie pentru linie, însă fără includerea pămîntului;

— un curent de componentă 0 (homopolară) circulă egal repartizat pe cele trei conductoare şi se întoarce prin pămînt.

Aplicînd aşadar tensiunilor şi curenţilor de fază, într-o primă treaptă, o transformare Clarke, cu matricea (13), se constată că constanta de propagare obţinută are elemente nediagonale mici [21]. Printr-o a doua treaptă de transformare, cu caracter de corecţie, matricea constantei de propagare este complet diagonalizată, însă elementele pe diagonală se schimbă insensibil. De aceea constantele de propagare se pot determina în mod simplu printr-o transformare Clarke. Totuşi, în [13] ambele transformări au fost calculate. S-au obţinut următoarele rezultate:

— matricile de transformare rezultante, în moduri naturale, pentru tensiuni şi curenţi, diferă doar puţin de $[T_{\alpha\beta 0}]$:

$$[T_U] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{6}}\nu_2'' & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}}\nu_1' \\ \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\nu_2' & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}}\nu_1'' \\ -\frac{1}{\sqrt{6}}\nu_2'' & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}}\nu_1' \end{bmatrix},$$

$$[T_I] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{6}}\nu_1'' & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}}\nu_2' \\ \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\nu_1' & 0 & \frac{1}{\sqrt{3}}\nu_2'' \\ -\frac{1}{\sqrt{6}}\nu_1'' & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}}\nu_2' \end{bmatrix}, \qquad (14)$$

unde: $\nu_1' = 1 - \frac{\eta_1}{\sqrt{2}}$, $\nu_2' = 1 - \frac{\eta_2}{\sqrt{2}}$, iar $\eta_1, \eta_2 \ll 1$; (15)

$$\nu_1'' = 1 + \sqrt{2}\,\eta_1,\ \nu_2'' = 1 + \sqrt{2}\,\eta_2,$$

— introducînd în expresia lui $[Z]$, în completarea rezistenţelor considerate în cazul pămîntului idealizat, perfect conductor, corecţiile $[P]$ şi $[Q]$ ale lui Carson:

$$[\bar{Z}] = [R] + j\omega\,[L] + \frac{\omega\mu_0}{\pi}([P] + j\,[Q])$$

s-au calculat constantele de propagare, rezultînd că:

— modul α se amortizează practic numai datorită rezistenţei conductoarelor;

— modul β are o amortizare mai mare, determinată de derivata lui P;

— modul 0 are amortizarea cea mai mare, determinată direct de P, similar ca la o linie monofazată;

— numai modul 0 are o viteză de propagare substanţial mai mică decît cea a luminii.

Relaţiile de calcul sînt date în [13].

Este interesantă explicaţia intuitivă ce poate fi prezentată cu privire la rezultatele obţinute pentru amortizarea celor trei moduri. Pentru aceasta se va examina în ce măsură se produc pierderi prin întoarcerea curenţilor prin pămînt. În acest scop, fiecare fază se va considera separat, cu un curent

de dus în conductor şi un curent de întors, repartizat în pământ, simetric în raport cu planul vertical V în care se găseşte conductorul (fig. 4).

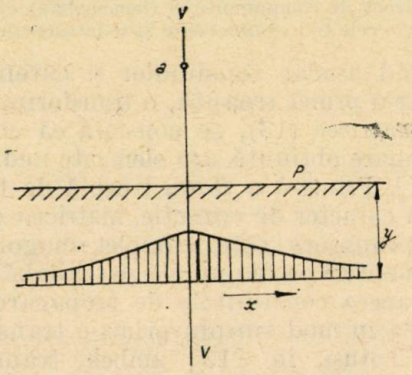


Fig. 4. Curba de variaţie a densităţii de curent la o adîncime oarecare (y) funcţie de distanţa x de la planul de simetrie V.

În cazul curenţilor homopolari se suprapun, cu acelaşi semn, trei repartizări de curenţi de întoarcere, ca în figura 4, puţin deplasate una faţă de cealaltă după orizontală: prin aceasta, practic, repartizarea nu se schimbă, rezultînd deci pierderi date direct de P, ca la o linie monofazată.

În cazul curenţilor β se formează diferenţa a două repartizări deplasate pe orizontală cu distanţa $2d$ între fazele extreme. În expresia pierderilor vor apărea prin urmare derivatele lui P determinate de o deplasare după orizontală.

Un sistem de curenţi α, de exemplu $i_a = 1$, $i_b = -2$, $i_c = 1$ poate fi considerat ca o diferenţă a următoarelor două sisteme:

$$I: \; i_a = 1, \quad i_b = -1,$$
$$II: \; i_b = 1, \quad i_c = -1.$$

Fiecare din aceste sisteme ar produce pierderi, prin diferenţa curenţilor din pământ, cu o repartizare deplasată pe o orizontală cu distanţa D dintre fazele vecine. Aici apare însă o diferenţă a celor două sisteme de curenţi, potrivit unei deplasări egale tot cu D, prin urmare şi o a doua derivare. Aceasta apare în formula finală obţinută, însă prin formarea diferenţelor de ordinul 2, densităţile de curent rezultante şi, corespunzător, şi pierderile în pământ rezultă

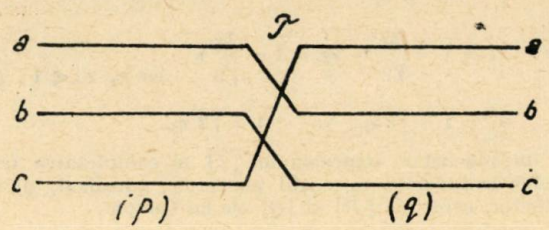


Fig. 5. Transpunerea fazelor a două tronsoane adiacente (p) şi (q).

cu totul neglijabile. De aceea amortizarea undelor de mod -1 (componenta α) va fi determinată practic de rezistenţa conductoarelor.

Propagarea undelor sinusoidale este mult influenţată de transpunerea fazelor. Matricea de transpunere a fazelor [10] (fig. 5)

$$[\mathcal{S}] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

se transformă în matrici de transpunere modale cu relaţiile:

$$[\mathcal{S}_{Um}] = [T_I]_t \, [\mathcal{S}] \, [T_U],$$
$$[\mathcal{S}_{Im}] = [T_U]_t \, [\mathcal{S}] \, [T_I],$$

rezultînd, ţinînd seama de (14) şi (15):

$$[\tau_{Um}] = \left[\begin{array}{cc|c} -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{3}{2}\eta_1 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}\eta_1 \\ \hline \frac{3}{2}\eta_2 & -\frac{\sqrt{3}}{2}\eta_2 & 1 \end{array}\right]$$

$$[\tau_{Im}] = \left[\begin{array}{cc|c} -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{3}{2}\eta_2 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}\eta_2 \\ \hline \frac{3}{2}\eta_1 & -\frac{\sqrt{3}}{2}\eta_1 & 1 \end{array}\right] \qquad (16)$$

Avînd în vedere că în (16) cuplajul cu modul 3 este slab, prin faptul că $\eta_1, \eta_2 \ll 1$, se poate separa o matrice de transpunere pentru modul -1 şi modul -2:

$$[t_m] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix}. \qquad (17)$$

Se poate, prin urmare, considera că modul 3 trece nemodificat prin locul de transpunere şi că prin transpunerea fazelor se produce numai o convertire între modurile 1 şi 2. În realitate, datorită puternicei amortizări undele de mod -3 nu ajung la locul de transpunere, însă reapar aici, în mică măsură, potrivit relaţiilor (16). De aceea, pe lîngă matricea de convertire (17), referitoare la modul 1 şi 2, este corect să se ţină seama la locurile de transpunere şi de pierderile provocate de amortizarea modului 3, regenerat prin transpunere.

Se poate arăta [10] că undele trec practic continuu, fără reflectare, prin locul de transpunere, impedanţa caracteristică suferind doar o mică modificare. De interes deosebit este propagarea undei de mod 1, care are cea mai slabă amortizare. Potrivit matricei (17), tensiunea modului 1 se înjumătăţeşte la fiecare transpunere, dacă se consideră că unda de mod 2 s-a amortizat complet. Atunci, factorul de propagare, pentru linia de lungime totală L, avînd n transpuneri, va fi pentru modul 1:

$$\overline{F} = \left(-\frac{1}{2}\right)^n e^{-\overline{\gamma}_1 L}$$

Dacă însă nu se poate considera că modul 2 se atenuează substanţial pe un tronson (dacă lungimea l a acestora este relativ mică), se poate scrie pentru factorii de propagare pentru un tronson

$$\overline{\beta}_1 = e^{-\overline{\gamma}_1 l} \cong 1 - \overline{\gamma}_1 l, \qquad \gamma_1 l \ll 1,$$
$$\overline{\beta}_2 = e^{-\overline{\gamma}_2 l} \cong 1 - \gamma_2 l, \qquad \gamma_2 l \ll 1,$$

şi incluzînd aceşti factori în (17) se obţine:

$$[\overline{t}_m]^* = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}\overline{\beta}_1 & \frac{\sqrt{3}}{2}\overline{\beta}_2 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}\overline{\beta}_1 & -\frac{1}{2}\overline{\beta}_2 \end{bmatrix}$$

Pentru o transpunere completă rezultă:

$$[\bar{t}_m]^{*3} = \left(1 - \frac{\bar{\gamma}_1 + \bar{\gamma}_2}{2} 3l\right) [1].$$

Prin urmare, influența modului 2 se resimte prin aceea că ambele moduri se propagă corespunzător cu constanta de propagare medie

$$\bar{\gamma}_{med} = \frac{\bar{\gamma}_1 + \bar{\gamma}_2}{2}.$$

Aceasta, după cum se poate arăta, corespunde secvenței directe a unei linii simetrice și, prin urmare, nici amortizarea modului 1 nu mai are valoarea deosebit de mică, caracteristică pentru linii cu conductoare orizontale.

3. Matricea de transfer pentru tensiuni de fază trepte-unitare. Cu ajutorul constantelor de propagare modale $\bar{\gamma}_i$, determinate în paragraful precedent, se poate exprima matricea diagonală a factorilor de propagare:

$$[\bar{F}_m] = \begin{bmatrix} e^{-\bar{\gamma}_1 l} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\bar{\gamma}_2 l} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\bar{\gamma}_3 l} \end{bmatrix},$$

Aceasta face legătura între tensiunile modale de la cele două capete ale liniei:

$$[\bar{U}_{m_B}] = [\bar{F}_m]\ [\bar{U}_{m_A}].$$

Pentru a obține matricea de transfer $[f(t)]$ pentru tensiuni de fază dreptunghiulare (trepte-unitare) se calculează întîi matricea de transfer pentru tensiuni modale trepte-unitare:

$$[f_m(t)] = \begin{bmatrix} f_1 & 0 & 0 \\ 0 & f_2 & 0 \\ 0 & 0 & f_3 \end{bmatrix}, \qquad (18)$$

calculînd, după indicația de la poziția 3 din tabela 1, transformata Fourier a cîtului $\frac{\bar{F}}{j\omega}$ [vezi relația (7)]; apoi modurile naturale se înlocuiesc prin mărimi de fază. Succesiunea celor două operații poate fi și inversată.

Matricea (18) intervine în legătura dintre tensiunile modale:

$$[u_{m_B}] = [f_m]\ [u_{m_A}],$$

în care $[u_{m_A}]$ este matricea coloană a unor tensiuni constante aplicate în A, la $t = 0$.

Înlocuind tensiunile modale cu cele de fază, aproximînd, la coronament orizontal, matricea de transformare reală cu $[T_{\alpha\beta 0}]$, se obține pentru matricea de transfer a tensiunilor de fază

$$[f] = [T_{\alpha\beta 0}]\ [f_m]\ [T_{\alpha\beta 0}]_t. \qquad (19)$$

Aceasta intervine în legătura dintre tensiunile de fază de la cele două capete, cele din A avînd valori constante, începînd cu $t = 0$:

$$[u_B] = [f]\ [u_A]. \qquad (20)$$

Dacă se efectuează înmulțirea indicată în (19), unde $[T_{\alpha\beta 0}]$ este dat în relația (13) și $[f_m]$ în relația (18) se obține pentru $[f]$ o matrice de forma:

$$[f] = \begin{bmatrix} f_a & f_{ab} & f_{ac} \\ f_{ab} & f_b & f_{ab} \\ f_{ac} & f_{ab} & f_a \end{bmatrix},$$

ale cărei elemente sînt funcții de transfer pentru aceeași fază (f_a, f_b) sau la o altă fază (f_{ab}, f_{ac}):

$$f_a = \frac{f_1 + 3f_2 + 2f_3}{6}, \quad f_b = \frac{2f_1 + f_3}{3},$$
$$f_{ab} = \frac{-f_1 + f_3}{3}, \quad f_{ac} = \frac{f_1 - 3f_2 + 2f_3}{6}. \qquad (21)$$

Dacă linia este complet simetrică, sau simetrizată prin transpuneri, $f_1 = f_2$ și se obține

$$f = f_a = f_b = \frac{2f_1 + f_3}{3},$$

$$f' = f_{ab} = f_{ac} = \frac{-f_1 + f_3}{3}.$$

În cazul mai general însă, considerat mai sus prin relațiile (21), cînd linia prezintă o simetrie față de conductorul central

$$f_b - f_a = f_{ac} - f_{ab} = \frac{f_1 - f_2}{2},$$

ceea ce corespunde faptului că nu există decît trei funcții de transfer independente.

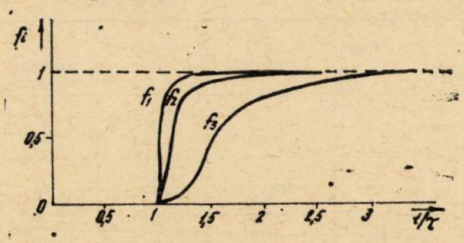


Fig. 6. Funcțiile de transfer modale.

Funcțiile de timp de fază f_a, f_b, f_{ab}, f_{ac}, exprimate prin (21), au fost calculate cu ajutorul funcțiilor de timp pentru moduri naturale f_1, f_2, f_3, reprezentate în figura 6, și au fost redate în figura 7.

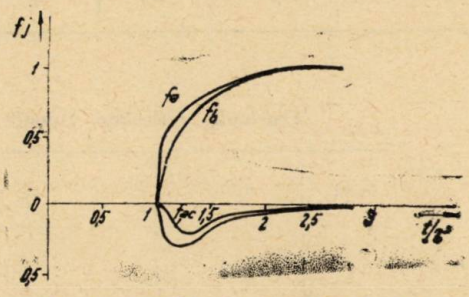


Fig. 7. Funcțiile de transfer de fază calculate din cele din figura 6.

Dacă o linie simetrică față de conductorul central este transpusă, este necesar să se considere matricea $[\bar{F}_m]$ calculată pentru întreaga linie, corespunzător cu indicațiile din paragraful precedent, deoarece relația (20) nu poate fi aplicată pentru tronsoane succesive, din cauză că numai la tronsonul terminal tensiunile din membrul drept sînt dreptunghiulare. Totuși tronsoanele pot fi considerate ca linii independente, rezultînd necesitatea efectuării pentru linie a unor calcule ca pentru un sistem electric compus.

4. Condiții extreme de reflectare la capetele liniei. Undele incidente în noduri se reflectă corespunzător cu condițiile de limită determinate de toate legăturile existente în acel nod : linii cu unde incidente în același moment, circuite cu elemente concentrate (R, L, C) liniare sau neliniare și surse de tensiune sau de curent. Sub o formă generală problema reflectării undelor este dificilă, însă dă posibilitatea studierii unui sistem complex. În cele ce urmează, ne vom limita la prezentarea condițiilor de limită pentru o singură linie avînd surse de putere infinită la capete.

Tensiunea impusă se va nota cu u_g ; ea este funcție de timp ; valoarea $u_g = 0$ corespunde fazei scurtcircuitate. Curentul impus, notat cu i_g, de asemenea funcție de timp, este de interes, de exemplu, la studiul deconectării liniei ; condiția de limită pentru o fază în gol este $i_g = 0$.

Ținînd seama că fazele extreme a și c sînt simetrice în raport cu faza centrală b, rezultă următoarele șase cazuri caracteristice de limită, ele deosebindu-se prin faptul că u_g sau i_g este impus, ceea ce este indicat în tabela 3 :

Tabela 3

Mărimile impuse la capătul liniei

Cazul \ Faza	a (resp. c)	b	c (resp.a)
1	i_g	i_g	i_g
2	u_g	i_g	i_g
3	i_g	u_g	i_g
4	u_g	u_g	i_g
5	u_g	i_g	u_g
6	u_g	u_g	u_g

În cazul 1 este valabilă relația :

$$[i'] + [i''] = [i_g],$$

iar în cazul 6 relația :

$$[u'] + [u''] = [u_g],$$

în care ' indică unda incidentă, iar '' unda reflectată. În celelalte cazuri apar relații mixte.

Între curenți și tensiuni există relațiile :

$$\begin{aligned} [u'] &= -[z]\,[i'], \\ [u''] &= [z]\,[i''], \end{aligned} \qquad (22)$$

corespunzătoare sensurilor indicate în figura 8.

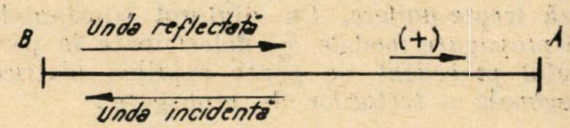


Fig. 8. Schema explicativă pentru semnele din relațiile (22).

În aceste relații

$$[z] = \begin{bmatrix} z_a & z' & z'' \\ z' & z_b & z' \\ z'' & z' & z_a \end{bmatrix}.$$

Problema constă în determinarea tensiunilor reflactate $[u'']$, fiind date tensiunile incidente $[u']$, impedanțele de undă ale liniei, precum și tensiunile și curenții terminali impuși. Calculele au fost dezvoltate în [15] și rezultatele prezentate în tabele. Pentru exemplul care se va prezenta în paragraful următor, interesează condițiile de reflectare pentru cazul unei linii simetrice la $i_g = 0$ ($z_a = z_b = z$, $z' = z''$), cuprinse în tabela 4.

5. Programa de calcul. Calculul unei supratensiuni de comutație se desfășoară în unități de timp Δt mici în raport cu timpul de parcurs al liniei și suficient de mici pentru ca integrala Duhamel să poată fi înlocuită printr-o sumă.

Tabela 4

Tensiunile reflectate, funcție de cele incidente, la o linie simetrică și $i_g = 0$

Cazul	$u_a'' =$	$u_b'' =$	$u_c'' =$
1	u_a'	u_b'	u_c'
2 (3)	$u_{ga} - u_a'$	$u_b' + \frac{z'}{z}(u_{ga} - 2u_a')$	$u_c' + \frac{z'}{z}(u_{ga} - 2u_a')$
4 (5)	$u_{ga} - u_a'$	$u_{gb} - u_b'$	$u_c' + \frac{z'}{z+z'}(u_{ga} - 2u_a' + u_{gb} - 2u_b')$
6	$u_{ga} - u_a'$	$u_{gb} - u_b'$	$u_{gc} - u_c'$

Calculul se bazează pe cunoașterea funcțiilor de transfer $[f(t)]$ pentru tensiuni de fază trepte-unitare, pentru care se determină matricea de diferențe $[\Delta f]$, indicată în figura 2, necesară în relația (6). Aceasta va furniza la al n-lea interval de timp Δt creșterea de tensiune incidentă $[\Delta u'_{Bn}]$. Tensiunea incidentă rezultantă va fi :

$$[u'_{Bn}] = [u'_{Bn-1}] + [\Delta u'_{Bn}]. \qquad (23)$$

Din condițiile de reflectare existente în acel moment se calculează, cu relațiile din tabela 4, tensiunea reflectată $[u''_{Bn}]$. Prin urmare

$$[\Delta u''_{Bn}] = [u''_{Bn}] - [u''_{Bn-1}] \qquad (24)$$

și

$$[u_{Bn}] = [u'_{Bn}] + [u''_{Bn}]. \qquad (25)$$

Creșterea de tensiune din (24) apare ca undă emisă care înaintează spre capătul A. Tensiunea

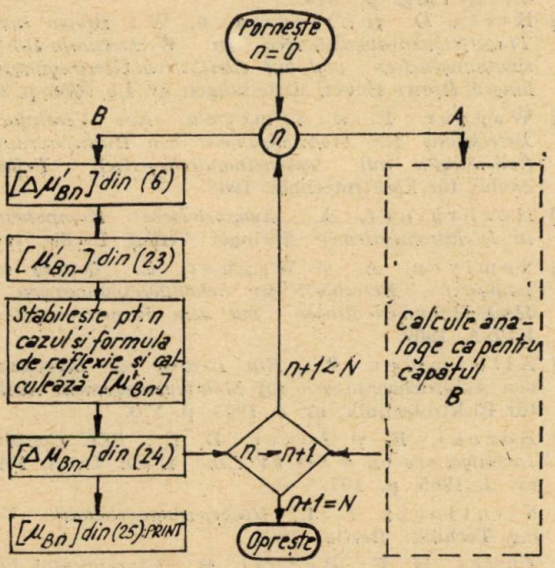


Fig. 9. Algoritmul pentru calculul numeric al tensiunilor de comutație la o linie având capetele conductoarelor în gol sau în scurtcircuit.

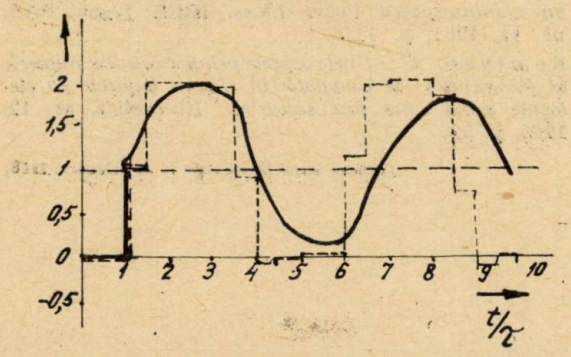


Fig. 10. Variația tensiunii la capătul în gol al fazei e care se conectează o tensiune constantă. Punctat -a reprezentat tensiunea obținută prin metoda de calcul clasică a lui Bergeron.

rezultantă în B este dată de relația (25). Calculele se efectuează în succesiune imediată pentru ambele capete ale liniei, algoritmul general de calcul fiind dat în figura 9. În figura 10 s-a reprezentat variația tensiunii la capătul unei linii trifazate simetrice de 300 km, pe faza la care s-a aplicat o tensiune constantă de 1 u.r. Pentru comparație, s-a reprezentat punctat și rezultatul calculului după metoda clasică a lui Bergeron.

Concluzii

Calculul supratensiunilor de comutație cu metoda Bergeron a fost pînă în prezent lipsit de precizie, din următoarele motive :

— constantele de propagare modale, funcție de frecvență, au trebuit să fie preluate din puținele date experimentale obținute pentru unele linii existente, neexistînd relații simple de corelare cu coeficienții P și Q ai lui Carson, privind influența pămîntului asupra parametrilor liniei aeriene;

— s-a considerat că undele dreptunghiulare emise se propagă nedeformat, cu viteză și amortizare constantă sau fără amortizare, deoarece datele cu privire la viteza de propagare și atenuarea undelor sinusoidale modale nu s-au valorificat pentru cazul undelor dreptunghiulare;

— pentru simplificare, liniile aeriene de transport au fost considerate simetrice; în realitate însă, adesea [17], în lipsa unor transpuneri complete, este indicat să se considere tronsoane de linie, care de multe ori prezintă o dispunere simetrică a conductoarelor extreme, în raport cu conductorul central.

Din dezvoltările prezentate în lucrare a rezutat

a) Linia cu conductoarele extreme dispuse simetric față de conductorul central și, în particular, linia având conductoarele dispuse în plan orizontal se pretează în mod convenabil pentru calcule, matricea de transformare în moduri naturale fiind apropiată de cea pentru componente Clarke, deci practic independentă de frecvență.

b) Constantele de propagare modale se determină prin relații simple din coeficienții P și Q ai lui Carson.

c) Pentru aplicarea metodei Bergeron este necesar să se considere forma deformată la sosirea la capătul îndepărtat al liniei a unor unde treaptă-unitară, emise pe cele trei faze; aceasta rezultă printr-o matrice a unor funcții de transfer, care reprezintă factorii de transfer „tranzitorii".

d) Funcțiile de transfer ale unor unde dreptunghiulare permit calculul tensiunii rezultante la capătul îndepărtat al liniei, folosind o integrală de convoluție; pentru determinarea numerică a tensiunilor s-a indicat un program de calcul.

e) Rezultatele obținute sînt mai exacte decît cele ce se obțin prin metoda cunoscută a lui Bergeron; se constată, printre altele, și lipsa unor trepte mari de tensiune determinate din considerarea unor unde distincte, dreptunghiulare, ce se succed la intervale de timp mari, date de timpul de parcurs al liniei.

ANEXA I

Ne propunem să calculăm cu ajutorul tabelei 1 funcția originală $\varphi(t)$ pentru funcția :

$$\Phi(\omega) = \Phi_1(\omega) \cdot \Phi_2(\omega) \qquad (26)$$

în care, potrivit cu (2), se poate scrie :

$$\Phi_1(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_1(x) e^{-j\omega x} dx \qquad (27)$$

$$\Phi_2(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_2(y) e^{-j\omega y} dy \qquad (28)$$

În aceste relații, x și y pot fi considerate variabile după axe de coordonate rectangulare.

Înlocuind (27) și (28) în (26) se obține:

$$\Phi(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_1(x)\ \varphi_2(y) e^{-j\omega(x+y)}\ dx\ dy \qquad (29)$$

În (29) integrarea trebuie efectuată în întregul plan al variabilelor x și y. Ea poate fi efectuată ordonat, considerînd întîi fîșii cu

$$x + y = t = const. \qquad (30)$$

Se obține:

$$\Phi(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t}\ dt \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_1(x)\varphi_2(t - x)\ dx. \qquad (31)$$

Comparînd (31) cu relația (2) din tabela 1 rezultă

$$\varphi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_1(x)\ \varphi_2(t - x) dx. \qquad (32)$$

În relația (3), în loc de x s-a scris θ.

Dacă $\varphi_1(x) = 0$, pentru $x<0$, și $\varphi_2(y) = 0$, pentru $y<0$, adică conform (30), pentru $x>t$ (primul cadran), în (32) este suficient ca integrarea să fie efectuată între limitele 0 și t:

$$\varphi(t) = \int_0^t \varphi_1(x)\ \varphi_2\ (t - x)\ dx.$$

ANEXA II

Scriind relația (4), pentru timpul $t + \Delta t$, se obține:

$$u_B\ (t + \Delta t) = f(t+\Delta t)u_A\ (0) + \int_0^{\theta=t+\Delta t} f(\theta)\, u_A'(t + \Delta t - \theta)\ d\theta,$$

sau, cu notația $\theta' = \theta - \Delta t$:

$$u_B(t + \Delta t) = f(t + \Delta t)\ u_A(0) + \int_0^{\theta'=t} f(\theta' + \Delta t)\ u_A(t - \theta')\ d\theta'.$$

Punînd $\theta' \to \theta$, se obține, prin scăderea relației (4):

$$\Delta u_B = u_B\ (t + \Delta t) - u_B(t) = \Delta f(t) u_A\ (0) + \int_0^t \Delta f(\theta)\, u_A'(t - \theta) d\theta. \qquad (5)$$

Bibliografie

[1] Carson, I. R. și Hoyt, R. S.: *Wave propagation in overhead wires with ground return.* Bell System Techn. Journal, nr. 5, 1926, p. 539.

[2] Pollaczek, F.: *Uber das Feld einer unendlich langen Wechselstromdurchflossenen Einfachleitung.* Elektrische Nachrichtentechnik, Berlin, nr. 9, 1926, p. 339.

[3] Rűdenberg, R.: *Fenomene tranzitorii în sistemele electroenergetice.* Editura Tehnică, București, 1959.

[4] Kontorovici, M. I.: *Calculul operațional și fenomenele tranzitorii în circuitele electrice.* Editura energetică de stat, 1955.

[5] Krug, K. A.: *Bazele electrotehnicii.* Gosenergoizdat, Moscova, 1952.

[6] Bergeron, L.: *Du coup de bélier en hydraulique au coup de foudre en électricité.* Dunod, Paris, 1950.

[7] Althammer, P. și Petitpierre, R.: *Schaltvorgänge und Schaltüberspannungen in Höchstspannungsnetzen.* Brown Boveri Mitteilungen, nr. 1/2, 1964, p. 33.

[8] Wagner, E.: *Beitrag zur Berechnung der Ausgleichsvorgänge beim nichtgleichzeitigen Schalten der Phasen einer symmetrischen Drehstromleitung.* Archiv für Elektrotechnik, 1969.

[9] Wedepohl, L. M.: *Application of matrix methods to solution of travelling wave phenomena in polyphase systems.* Proceedings IEE, nr. 12, 1963, p. 200.

[10] Semlyen, A.: *Wave Propagation on Overhead Lines with Two Symmetrical Phases.* IEEE Trans. PAS, 1969.

[11] Perz, M. C.: *Natural Modes of Power Line Carrier on Horizontal Three Phase Lines.* IEEE Trans. PAS, nr. 7, 1964, p. 679.

[12] Kreis, O. și Friedmann, W.: *Brown Boveri Trägerfrequenzausrüstungen in Wechselstrom-Höchstspannungsnetzen und auf Gleichstrom-Übertragungsleitungen.* Brown Boveri Mitteilungen, nr. 4/5, 1966, p. 350.

[13] Wagner, E. și Semlyen, A.: *Vereinfachte Berechnung der Modalparameter von Hochspannungsfreileitungen mit nebeneinanderliegenden Leitern.* Archiv für Elektrotechnik, 1968.

[14] Hochrainer, A.: *Symmetrische Komponenten in Drehstromsystemen.* Springer Verlag, Berlin, 1957.

[15] Semlyen, A. și Wagner, E.: *Beitrag zum genaueren Berechnen der Schaltüberspannungen an Hochspannungsleitungen mit dem Bergeronverfahren.* ETZ-A, 1969.

[16] Althammer, P.: *Ein Beitrag zur Berechnung von Ausgleichvorgängen auf Mehrleitersystemen.* Archiv für Elektrotechnik, nr. 4, 1964, p. 170.

[17] Bozoki, B. și Jones, D. E.: *PLC Coupling Investigations on a 500 kV Line.* IEEE Trans. PAS, nr. 3, 1965, p. 197.

[18] Sirotinski, L. I.: *Hochspannungstechnik.* Verlag Technik, Berlin, 1965.

[19] Jones, D. E., Bozoki, B.: *Experimental Evolution of Power Line Carrier Propagation on a 500 kV Line.* IEEE Trans. PAS, nr. 1, 1964, p. 16.

[20] Ushirozawa, M.: *High Frequency Propagation on non-transposed Power Lines.* IEEE Trans. PAS, nr. 11, 1964, p. 1116.

[21] Semlyen, A.: *Unele aspecte privind calculul numeric al fenomenelor de comutație în sisteme trifazate cu elemente având două faze simetrice.* Energetica, nr. 12, 1966, p. 556.

(Articol intrat în redacție la 24 februarie 1968)

Analiza posibilităţilor de apariţie a supratensiunilor de rezonanţă armonică în reţelele de foarte înaltă tensiune

Ing. Ana Bensimon *)

1. Consideraţii generale

Prezenţa în reţelele electrice a unor elemente cu caracteristică neliniară provoacă circulaţia curenţilor armonici în liniile de înaltă tensiune şi, ca urmare, deformarea curbei de tensiune şi curent în reţele. Cele mai importante generatoare de curenţi armonici în sistemele energetice sînt redresoarele care alimentează laminoare, tracţiunea electrică şi cuptoarele electrice cu arc, în industria metalurgică şi chimică. Alţi consumatori cu efect deformant mai sînt motoarele de inducţie şi lămpile cu fluorescenţă.

Transformatoarele, din cauza caracteristicii neliniare de magnetizare, generează tensiuni armonice în special la orele de sarcină redusă, cînd tensiunea reţelei este ridicată.

O serie de măsurători făcute în diferite staţii de 6...220 kV din ţara noastră au relevat o cotă importantă de curenţi armonici cu frecvenţe între 100—1250 Hz şi distorsiunea tensiunii pînă la 12%.

În anumite condiţii critice pot apărea în reţele fenomene de amplificare a curentului sau tensiunii la o frecvenţă armonică. Acestea sînt datorate circuitelor oscilante formate din inductanţele şi capacităţile elementelor de reţea. Amplificarea undelor armonice face posibil ca o deformare slabă a undei lîngă sursa de armonici să fie cauza unor deformări importante la capătul liniilor lungi din sistem.

În anumite configuraţii ale sistemului de transport, frecvenţa proprie a acestuia se poate apropia de una dintre armonicile prezente în reţea. Acest caz de rezonanţă poate conduce la perturbaţii grave, sub forma supratensiunilor de rezonanţă, periculoase pentru izolaţia reţelelor de foarte înaltă tensiune, deoarece ele au o acţiune de durată şi pot atinge valori destul de mari.

Studii efectuate la Institutul de Energetică al Academiei R. S. România au relevat posibilitatea unor configuraţii critice în cazul punerii la pămînt a unei faze în reţele cu neutrul izolat, explicînd fenomenul supratensiunii prelungite la schimbarea bruscă a frecvenţei proprii a reţelei, prin rezonanţă pe fundamentală sau pe o armonică [1].

Cunoscînd că în reţelele de 220 şi 400 kV nivelul relativ de izolaţie coboară pînă la valori între 2,1, ...3, supratensiunile de durată, care conduc la îmbătrînirea izolaţiei, devin mai periculoase decît la tensiunile inferioare, unde nivelele relative de izolaţie sînt mai ridicate, de ordinul 3,5...5.

În reţelele de 220 şi 400 kV posibilitatea amplificării tensiunilor şi curenţilor armonici în regimul de rezonanţă este mai mare datorită creşterii capacităţii liniilor şi a puterilor de scurtcircuit ale sistemului. Aceşti factori determină frecvenţe proprii de oscilaţie mai scăzute în reţelele de 220 şi 400 kV decît în cele de 110 kV, frecvenţe care intră în spectrul de armonici generate de sursele din sistem.

După cum rezultă din datele obţinute prin măsurare în diferite sisteme de 220 kV, publicate în literatura de specialitate, frecvenţa proprie de oscilaţie a sistemelor are valori între 0,5 şi 3 kHz.

Spectrul de frecvenţe al curenţilor armonici, măsurat în aceste reţele, se întinde între 0,15 şi 1,25 kHz (armonica 3...25).

Această comparaţie arată că în reţele de 220 şi 400 kV este posibilă apariţia fenomenului de rezonanţă.

Caracteristica de frecvenţă a impedanţei liniilor lungi din sistemul de transport de 220 şi 400 kV prezintă puncte de rezonanţă serie sau rezonanţă paralel pentru unele din armonicile prezente în aceste reţele, datorate consumatorilor deformanţi alimentaţi (generatoare de armonici).

În aceste puncte de impedanţă nulă sau de impedanţă infinită pentru o armonică, au loc fenomene de amplificare periculoasă a tensiunii armonice respective din reţea.

Lucrarea de faţă se ocupă cu transmiterea armonicilor în reţelele de 220 şi 400 kV, stabilind domeniile în care este posibilă producerea fenomenului de rezonanţă, cu scopul de a determina configuraţiile periculoase. Se studiază amplificările sau atenuările ce se produc la transmiterea oscilaţiilor armonice în linii lungi şi valorile maxime ce le pot atinge tensiunile la rezonanţă.

Frecvenţa proprie de oscilaţie a sistemului pe barele staţiilor trebuie să fie cunoscută pentru alegerea corectă a aparatajului de comutaţie pentru 220 şi 400 kV. Normele internaţionale de încercare a întreruptoarelor prescriu viteza de creştere a tensiunii de restabilire în funcţie de frecvenţa proprie de oscilaţie a reţelei în punctul de montare a aparatului.

Determinarea frecvenţei proprii a reţelelor de 220 şi 400 kV prin măsurare directă în reţea este legată de mari dificultăţi. Chiar şi acele metode de măsurare care nu necesită întreruperea funcţionării comportă suficiente pericole şi perturbarea exploatării normale a reţelei.

*) Ana Bensimon este inginer la I.R.M.E.

Această valoare se determină de obicei pe modele de rețea pentru reprezentarea regimurilor tranzitorii sau, în lipsa acestora, prin calcul analitic.

2. Comportarea liniei lungi în gol, la frecvențe armonice

Impedanța de intrare a unei linii lungi în gol, linie considerată fără pierderi, avînd valoarea :

$$Z_{i\,gol} = -jZ_c \operatorname{ctg} \beta l = -jZ_c \operatorname{ctg} \frac{2\pi l}{\lambda},$$

unde :

Z_c reprezintă impedanța caracteristică a liniei,
l — lungimea liniei,
β — constanta de fază a undei,
λ — lungimea de undă,

variază în funcție de l/λ după o curbă de forma arătată în figura 1. Se notează cu $Z_i^* = \frac{Z_i}{Z_c}$.

Curba Z_i^* este periodică și se repetă cu o perioadă $l/\lambda = 0{,}5$. Pentru o frecvență armonică superioară $f_n = nf_{50}$ impedanța de intrare a liniei în gol are expresia $Z_{i\,gol} = -jZ_c \operatorname{ctg} n\beta l = -jZ_c \operatorname{ctg} \frac{2\pi nl}{\lambda}$.

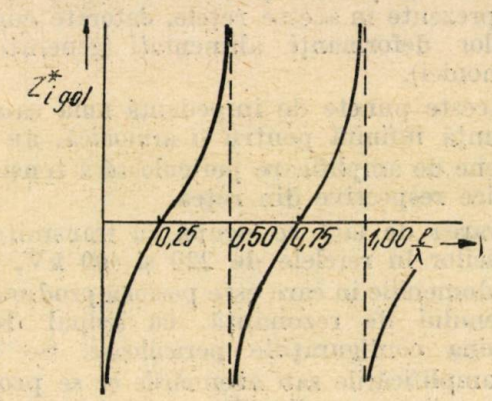


Fig. 1.

Dacă se notează prin $\lambda_n = \lambda/n$ lungimea de undă la frecvența superioară $n \times 50$ Hz, curba din figura 1 reprezintă, pentru o linie dată de lungime l, variația impedanței de intrare în gol, în funcție de l/λ_n, deci în funcție de frecvență. Astfel, pentru o linie de 300 km, punctul *1* de pe abscisă corespunde frecvenței la care $n \cdot 300/6000 = 1$, adică frecvenței $20 \times f_{50}$ (frecvența armonicii 20).

Se observă că la o linie considerată fără pierderi, impedanța de intrare în gol este nulă la frecvențele armonice la care raportul l/λ_n are valorile 0,25 sau 0,75.

În cazul liniei din exemplul de mai sus, cu $l = 300$ km, aceste puncte corespund frecvențelor 5×50 Hz și 15×50 Hz (armonicile 5 și 15).

Impedanța de intrare în gol este infinită la frecvențele la care $l/\lambda_n = 0{,}5$ și 1. În cazul exemplificat, la armonicile 10 și 20, impedanța de intrare este teoretic infinită.

De observat că la o linie în gol, avînd lungimea $\lambda/4$, impedanța de intrare $Z_{i\,gol}$ este teoretic nulă, ceea ce reprezintă un regim de scurtcircuit. Pentru o frecvență de armonică n, impedanța de intrare este nulă la linii de lungime $\lambda/4n$ (6000 km/4n). La armonicile mai importante prezente în rețelele de 220 și 400 kV (armonicile 5, 7, 11 și 13), lungimea $\lambda/4\,n$ corespunde unor valori uzuale la liniile de transport la acest nivel de tensiune. Prin urmare, cazul acestor linii în gol prezintă interes ca regim de rezonanță armonică.

Acest caz poate fi studiat cu ajutorul analogiei între linia în gol și un circuit oscilant serie clasic. Se observă că, într-o zonă restrînsă de frecvențe vecine frecvenței de rezonanță, linia în gol se comportă cu aproximație ca un circuit serie.

Caracteristica de frecvență a impedanței unui circuit oscilant serie :

$$X = jL\omega - j\frac{1}{C\omega} = jX_{rez}\left(\frac{f}{f_{rez}} - \frac{f_{rez}}{f}\right),$$

unde X_{rez} este valoarea impedanței la frecvența de rezonanță, și f_{rez} este frecvența de rezonanță,

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

are forma curbei I din figura 2.

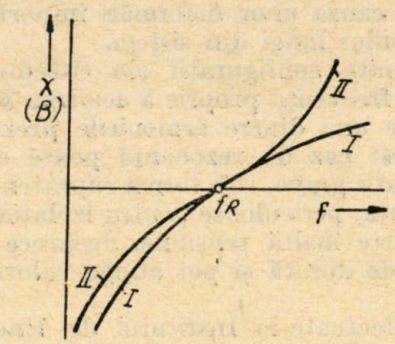


Fig. 2.

I — reactanța unui circuit oscilant serie; susceptanța unui circuit oscilant paralel; II — reactanța liniei în gol; susceptanța liniei în scurtcircuit.

Panta caracteristicii de frecvență a circuitului serie, în punctul $f = f_{rez}$ este

$$\left(\frac{dX}{df}\right)_{f=f_{rez}} = 2\pi L + \frac{1}{2\pi f_{rez}^2 C} = 4\pi L.$$

Panta caracteristicii impedanţei liniei de sfert de undă în gol, la $f = f_{rez}$:

$$\left[\frac{dX_{i\,gol}}{df}\right]_{f=f_{rez}} = 2\pi\sqrt{L'C'}\,l \cdot Z_c = 2\pi L'l$$

unde L' şi C' sînt constantele specifice ale liniei.

Dacă se consideră o bandă îngustă de frecvenţe şi notînd cu Δf abaterea de la frecvenţa de rezonanţă:

$$f = f_{rez} + \Delta f,$$

Δf fiind $< 10\%\ f_{rez}$

$$\frac{f_{rez}}{f} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta f}{f_{rez}}} \approx 1 - \frac{\Delta f}{f_{rez}}$$

De aici rezultă factorul

$$\frac{f}{f_{rez}} - \frac{f_{rez}}{f} \approx 2\,\frac{\Delta f}{f_{rez}}$$

şi urmează că reactanţa X a circuitului serie este direct proporţională cu abaterea Δf

$$X = X_{rez} \cdot 2\,\frac{\Delta f}{f_{rez}} = 4\pi L.$$

Linia în gol şi circuitul serie sînt echivalente în zona de rezonanţă, din punct de vedere al reactanţei de intrare, dacă panta curbelor este egală, deci:

$$L = \frac{L'l}{2}$$

Inductanţa L şi capacitatea $C = 1/\omega_{rez}\,2L$ determină parametri circuitului serie echivalent cu linia în gol.

Analogia între acest circuit oscilant serie şi linia în gol în apropierea frecvenţei de rezonanţă (la abateri Δf mici) apare şi mai bine dacă în expresia impedanţei liniei în gol se înlocuieşte funcţia X prin tangenta ei, la abateri Δf mici, în punctul f_{rez}:

$$X_{i\,gol} = \left[\frac{dX_{i\,gol}}{\Delta f}\right]_{f=f_{rez}} \cdot \Delta f = 2\pi L \cdot l \cdot \Delta f =$$

$$= \omega_{rez}\,\frac{L'}{2} \cdot \frac{2\Delta f}{f_{rez}} = X_{rez} \cdot \frac{2\Delta f}{f_{rez}}.$$

Efectul factorilor de amortizare din linia în gol reală se poate analiza pe circuitul oscilant serie echivalent.

O rezistenţă R în serie cu circuitul modifică impedanţa de intrare, care devine la rezonanţă:

$$Z_i = R + jX_{rez}\left[\frac{f}{f_{rez}} - \frac{f_{rez}}{f}\right] =$$

$$= R\left[1 + j\,\frac{X_{rez}}{R}\left(\frac{f}{f_{rez}} - \frac{f_{rez}}{f}\right)\right].$$

Componenta reactivă a impedanţei este zero la frecvenţa de rezonanţă şi creşte cu abaterea de la această frecvenţă:

$$Im\,[Z_i] = jX_{rez} \cdot 2\,\frac{\Delta f}{f_{rez}}.$$

Coeficientul de amplificare al liniei în gol

Considerînd că se aplică la intrarea într-o linie lungă în gol o sursă de tensiune armonică U_n, în anumite condiţii linia constituie un amplificator al acestei tensiuni.

La ieşire se va găsi tensiunea U_{1n} amplificată cu un coeficient α_u:

$$U_2 = U_1\alpha_u.$$

Din ecuaţiile liniei lungi fără pierderi, în gol:

$$\alpha_u = \left|\frac{U_2}{U_1}\right|_{gol} = \frac{1}{\cos n\beta l}.$$

Tensiunea U_2 poate lua valori foarte mari pentru armonicile care fac ca unghiul de defazaj al liniei, $n\beta l$, să ia valori apropiate de $(2\,k + 1)\pi/2$, iar la valorile $n\beta l = (2\,k + 1)\,\pi/2$ tensiunea armonică la ieşire (U_2) ar fi infinită dacă nu ar acţiona factorii de amortizare ai liniei. Pentru a determina valorile coeficientului de amplificare al liniei în gol în cazul cînd $\cos n\,\beta l = 0$, se ţine seama şi de constanta de atenuare dată de pierderile în linie.

$$\alpha_u = \frac{1}{\mathrm{ch}\,\gamma l},$$

unde $\gamma = \alpha + j\beta$ este constanta pe propagare a liniei considerate cu pierderi.

$$\alpha_u = \frac{1}{\mathrm{ch}\,(\alpha + j\beta)}$$

la unghiuri $n\beta l = (2\,k + 1)\pi/2$ ia valoarea sa maximă:

$$|\,\alpha_u\,| = \frac{1}{\mathrm{sh}\,\alpha l}$$

Pentru exemplificare, la linia de 220 kV Bucureşti-Sud–Barboşi factorul de atenuare are valoarea:

$$\alpha l = \frac{R}{2Z_c} = 0{,}012 \text{ rad.}$$

şi coeficientul de amplificare a tensiunii de armonică 7, pentru care linia în gol este aproape în regim de sfert de undă ($n\beta l \cong \pi/2$):

$$\alpha_u = \frac{1}{\text{sh } 0{,}12} = 83.$$

Acest coeficient de amplificare maxim se aplică la valoarea tensiunii de armonică

$$n = \frac{(2k+1)\pi}{2\beta l},$$

De remarcat că în situaţia cu linia în gol, în regim staţionar, tensiunea de armonică n la intrare are o valoare foarte mică, deoarece impedanţa de intrare a acestei linii este foarte aproape de zero.

Linia în gol reprezintă un filtru trece-bandă pentru armonica

$$n = \frac{(2k+1)\pi}{2\beta l}$$

făcînd ca tensiunea de armonica respectivă să scadă foarte mult. Deci coeficientul de amplificare α_u se aplică la o valoare de intrare foarte mică a tensiunii, care poate să nu fie încă periculoasă.

În schimb, în cazul cînd se fac comutaţii în sistem, poate apărea o tensiune de armonică n, impusă, de valoare mai importantă, care, fiind amplificată de linia în gol, poate atinge valori periculoase pentru izolaţie.

3. Comportarea liniei lungi în scurtcircuit la frecvenţe armonice

Impedanţa de intrare a liniei lungi în scurtcircuit, considerînd linia fără pierderi,

$$Z_{i\,sc} = jZ_c \operatorname{tg}\beta l = jZ_c \operatorname{tg}\frac{2\pi l}{\lambda}$$

variază în funcţie de l/λ după o curbă de forma celei din figura 3. Această curbă reprezintă, pentru o linie de lungime l în scurtcircuit, variaţia impedanţei de intrare în funcţie de frecvenţă. Astfel, impedanţa de intrare a unei linii de 300 km în scurtcircuit are valoarea teoretică zero la armonica 10 şi armonica 20 şi este infinită la armonica 5 şi armonica 15.

La o linie în sfert de undă, în scurtcircuit, impedanţa de intrare $Z_{i\,sc} = \infty$, ceea ce reprezintă o rezonanţă de tensiune. Acest regim constituie la armonica $n = \lambda/4l$ un pericol de supratensiune ($V_n = I_n \cdot Z_{i\,sc}$).

Rezonanţa armonică a liniei în sfert de undă în scurtcircuit poate fi studiată cu ajutorul analogiei între această linie şi un circuit oscilant paralel clasic. Se observă că, într-o zonă restrînsă de frecvenţe vecine frecvenţei de rezonanţă, caracteristica de frecvenţă în cele două cazuri este foarte apropiată.

Susceptanţa circuitului oscilant paralel:

$$B = j\left(\omega C - \frac{1}{L\omega}\right) = jB_{rez}\left(\frac{f}{f_{rez}} - \frac{f_{rez}}{f}\right),$$

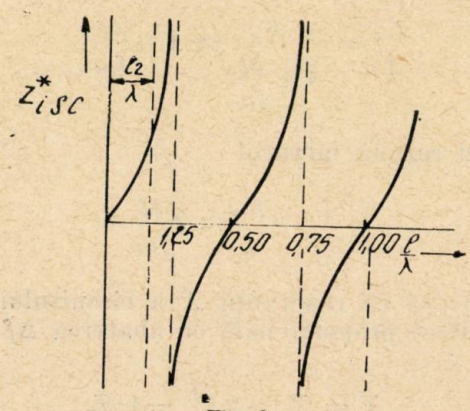


Fig. 3.

unde B_{rez} este valoarea susceptanţei la frecvenţa pe rezonanţă:

$$f_{rez} = 1/2\pi\sqrt{LC},$$

are forma curbei I din figura 2. Panta curbei în punctul de rezonanţă:

$$\left[\frac{dB}{df}\right]_{f=f_{rez}} = 2\pi C + \frac{1}{2\pi f_{rez}^2 L} = 4\pi C.$$

Panta caracteristicii impedanţei liniei în scurtcircuit la $f = f_{rez}$:

$$Y_{i\,sc} = jB_{i\,sc} = -j\frac{1}{Z_c}\operatorname{ctg}\frac{2\pi l}{\lambda}$$

$$\left[\frac{dB_{i\,sc}}{df}\right]_{f=f_{rez}} = \frac{1}{Z_c}\left(\frac{2\pi\sqrt{L'C'}}{\sin^2\frac{2\pi l}{\lambda}}\right) =$$

$$= \frac{2\pi\sqrt{L'C'}\,l}{Z_c} = 2\pi C'l.$$

Panta celor două caracteristici de frecvenţă este egală în zona $f = f_{rez}$, la

$$C = \frac{C'l}{2}$$

Capacitatea C şi inductanţa $L = 1/\omega_{rez}^2 C$ determină parametrii circuitului oscilant paralel, echivalent cu linia în scurtcircuit.

Analogia între linia în scurtcircuit şi circuitul oscilant paralel apare mai bine dacă în zona frecvenţei de rezonanţă, pentru abateri Δf mici, se înlocuieşte funcţia B prin tangenta ei:

$$B_{i\,sc} = \left[\frac{dB_{i\,sc}}{df}\right]_{f=f_{rez}} \cdot \Delta f = 2\pi C' l \cdot \Delta f =$$

$$= \omega_{rez} \cdot \frac{C' l}{2} \cdot \frac{2\Delta f}{f_{rez}} = B_{rez} \cdot \frac{2\Delta f}{f_{rez}}.$$

Efectul factorilor de amortizare din linia reală în scurtcircuit poate fi analizat pe circuitul oscilant paralel echivalent. Admitanţa circuitului paralel cu o rezistenţă:

$$Y = G + jB_{rez}\left(\frac{f}{f_{rez}} - \frac{f_{rez}}{f}\right) = G\left[1 + \right.$$

$$\left. + j\,\frac{B_{rez}}{G}\left(\frac{f}{f_{rez}} - \frac{f_{rez}}{f}\right)\right].$$

La $f = f_{rez}$ termenul imaginar este nul. La valori diferite de frecvenţă el creşte cu abaterea de la f_{rez}.

Coeficientul de amplificare al liniei în scurtcircuit

Dacă la intrarea într-o linie lungă în scurtcircuit se aplică o sursă de curent armonic I_n, în anumite condiţii linia amplifică acest curent, iar la ieşire se va găsi o valoare $I_2 = \alpha_i I_1$.

Coeficientul de amplificare α_i al liniei în scurtcircuit rezultă din ecuaţiile liniei lungi fără pierderi:

$$\alpha_i = \left|\frac{I_2}{I_1}\right|_{sc.s.} = \frac{1}{\sin n\beta l}$$

Curentul armonic I_2 poate lua valori foarte mari pentru armonicile care fac ca unghiul de defazaj al liniei, $n\beta l$, să ia valori apropiate de $k\pi$. Pentru a determina valorile coeficientului de amplificare al liniei în scurtcircuit cînd $\sin n\beta l = 0$, se ţine seama de constanta de atenuare a liniei:

$$\alpha_i = \frac{1}{\operatorname{sh} \gamma l}$$

care la $n\beta l = k\pi$ ia valoarea $|\alpha_i| = \dfrac{1}{\operatorname{sh} \alpha l}$.

Pentru exemplificare, la linia de 220 kV Bucureşti-Sud—Barboşi, amplificarea curenţilor armonici la scurtcircuit poate fi de maximum $\alpha_i = 83$.

Pentru exemplul studiat anterior la linia de 220 kV Bucureşti-Sud — Barboşi şi pentru propagarea armonicii 7, care dă coeficientul maxim α_i, în cazul liniei în scurtcircuit, situaţia este următoarea:

— impedanţa de intrare a liniei pentru armonica 7 tinde către infinit. Deci practic curentul de armonică 7, care va intra în linia în scurtcircuit, va fi foarte mic. Amplificat cu coeficientul $\alpha_i = 83$, acest curent încă nu are o valoare periculoasă. În schimb, acest curent, care circulă printr-o impedanţă foarte mare, provoacă o cădere de tensiune însemnată $U_7 = I_7 \cdot Z_i$ care poate determina la intrarea liniei o creştere substanţială a tensiunii de armonică 7. Ca efect, se poate presupune că în cazul unui scurtcircuit la care se produc creşteri ale tensiunilor armonice după mecanismul arătat mai sus, se pot produce conturnări de izolaţie (deci defecte succesive) în alte puncte ale sistemului.

4. Comportarea liniei în sarcină la frecvenţe superioare

Impedanţa de intrare a liniei fără pierderi cu sarcină complexă

Notînd cu U_1 şi U_2 tensiunea la intrare şi ieşire, I_1 şi I_2 curentul de intrare şi ieşire şi impedanţa sarcinii complexe $Z_2 = R_2 + jX_2$

$$U_2 = Z_2 \cdot I_2,$$

iar impedanţa de intrare a liniei cu sarcină

$$[Z_i] = \frac{R_2^* \cos \beta l + j\,(X_2^* \cos \beta l + \sin \beta l)}{\cos \beta l - X_2^* \sin \beta l + jR_2^* \sin \beta l}.$$

În cele de mai sus, toate impedanţele sînt exprimate prin valoarea relativă, raportată la impedanţa caracteristică Z_c a liniei şi sînt notate prin valorile stelate.

La frecvenţele armonicilor superioare

$$(n \times 50 \text{ Hz})$$

impedanţa liniei în sarcină are expresia:

$$Re\,[Z_i^*] = \frac{R_2^*}{\cos^2 n\beta l} \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{1 - 2nR_2^* X_2^* \operatorname{tg} n\beta l + (R_2^{*2} + n^2 \beta l\, X_2^{*2}) \operatorname{tg}^2 n\beta l}$$

$$Im[Z_i^*] = \frac{(1 - R_2^{*2} - n^2 X_2^{*2}) \operatorname{tg} n\beta l + n^2 X_2^{*2}(1 - \operatorname{tg}^2 n\beta l)}{1 - 2n R_2^* X_2^* \operatorname{tg} n\beta l + (R_2^{*2} + n^2 X_2^{*2}) \operatorname{tg}^2 n\beta l}.$$

Linia cu sarcină activă (compensată 100%).

Impedanţa de intrare a liniei în cazul $X_2^* = 0$, rezultă:

$$Z_i^* = \frac{R_2^*(1 + \operatorname{tg}^2 n\beta l)}{1 + R_2^{*2} \operatorname{tg}^2 n\beta l} + j\,\frac{(1 - R_2^{*2}) \operatorname{tg} n\beta l}{1 + R_2^{*2} \operatorname{tg}^2 n\beta l}.$$

În figura 4 sînt date în reprezentare polară valorile impedanţei Z_i^* în funcţie de variaţia

unghiului $n\beta l$ între 0° și 180° pentru patru situații ale sarcinii active R_2^*:

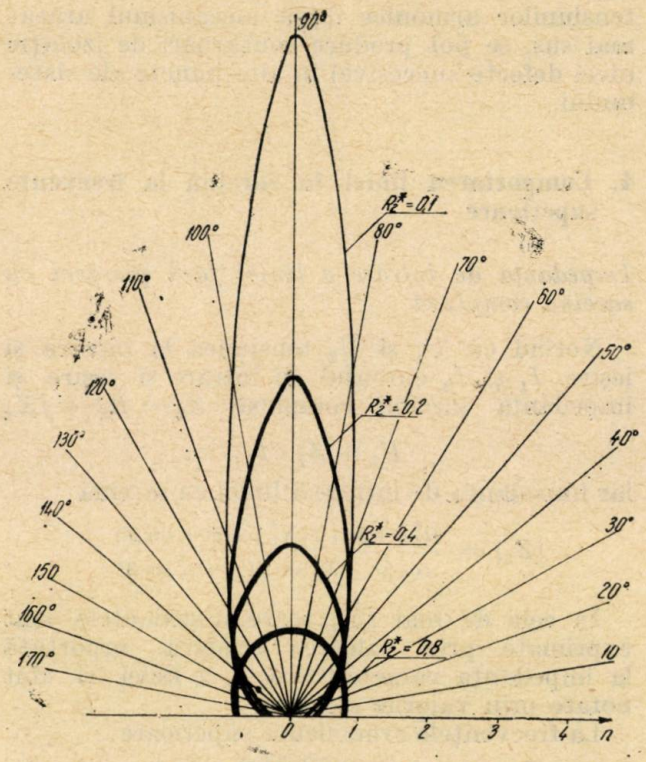
$$R_2 = 0{,}1\ Z_c$$

$$R_2 = 0{,}2\ Z_c$$

$$R_2 = 0{,}4\ Z_c$$

$$R_2 = 0{,}8\ Z_c$$

Se observă că impedanța de intrare are valoarea minimă $Z_i^* = R_2^*$ la unghiuri $n\beta l = k\pi$, deci la linii cu lungime $l = \lambda/2\ n = \lambda_n/2$.



Fgi. 4. Impedanța de intrare a liniei fără pierderi cu sarcină activă ($X_2^* = 0$); $[Z_i^*] = f(n\beta l)$.

Valoarea maximă a impedanței se produce la unghiuri $n\beta l = (2\ k + 1)\pi/2$, cînd $Z_i^* = 1/R_2^*$.

Linia în sarcină activă nu are niciodată impendanța nulă deoarece partea reală a expresiei Z_i^* nu admite nici o soluție. La valori mici ale sarcinii R_2^*, impedanța liniei în sfert de undă ia valori foarte mari, tinzînd teoretic să fie infinită la $R_2^* = 0$ (linia în scurtcircuit).

Notînd cu un parametru m valoarea relativă a sarcinii active, raportată la impedanța caracteristică,

$$m = R_2^* = R_2/Z_c,$$

cînd: $R_2 < Z_c$,

impedanța de intrare a liniei la o frecvență $n \times 50$ Hz poate fi analizată cu ajutorul unei diagrame circulare. Această diagramă cuprinde parametri m și l/λ. Se notează prin λ_n lungimea de undă la frecvența n:

$$\lambda_n = \lambda/n$$

Impedanța de intrare a liniei la frecvența n se reprezintă pe axe rectangulare (R, X):

$$Z_i^* = R_1^* + j\ X_1^*$$

$$R_1^* = \frac{m\left(1 + \operatorname{tg}^2 \frac{2\pi l}{\lambda_n}\right)}{1 + m^2 \operatorname{tg}^2 \frac{2\pi l}{\lambda_n}} \quad \text{și}$$

$$X_1^* = \frac{(1 - m^2) \operatorname{tg} \frac{2\pi l}{\lambda_n}}{1 + m^2 \operatorname{tg}^2 \frac{2\pi l}{\lambda_n}}.$$

Se obține din diagramă impedanța de intrare a liniei la valori constante ale sarcinii R_2^* pentru diferite valori l/λ_n, adică fie variind lungimea liniei la o frecvență n constantă, fie la diferite frecvențe pentru lungimi l constante.

Toate valorile impedanței de intrare Z_i la aceeași sarcină $R_2 = m\ Z_c$ sau $R_2^* = m$ se

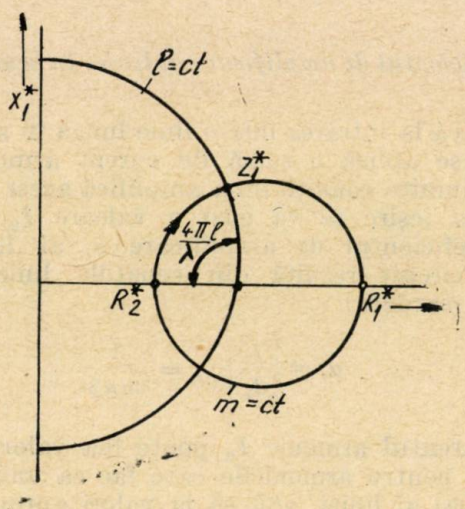


Fig. 5.

află în planul complex pe un cerc (cerc de egal R_2^*). Acest cerc are ecuația:

$$\left[R_1^* - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{m} + m\right)\right]^2 + X_1^{*2} = \left[\frac{1}{2}\left(\frac{1}{m} - m\right)\right]^2 \qquad (1)$$

(Raza cercului este $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{m} - m\right)$ iar centrul se află pe axa reală la abscisa $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{m} + m\right)$.

Cercul taie axa reală în punctele m și $1/m$.

Pentru a găsi punctul impedanței Z_i^* pe cercul de egal R_2 se construiește un cerc auxiliar de l = constant la λ_n = constant (aceeași frecvență) care conține toate punctele Z_i pentru valori diferite ale R_2^* între 0 și 1. Cercul de l = = constant are ecuația :

$$R_1^{*2} + \left(X_1^* + \operatorname{ctg} \frac{4\pi l}{\lambda_n}\right)^2 = \left[\frac{1}{\sin \frac{4\pi l}{\lambda_n}}\right]^2. \qquad (2)$$

Toate cercurile l = constant trec prin punctul l (Z_c) de pe axa reală.

Punctul Z_i^* căutat se găsește la intersecția cercului de R_2^* = constant cu cercul de l = = constant pentru o anumită lungime de undă (frecvență). Dintre cele două intersecții, cea corectă este punctul la care unghiul dintre R_2^* și impedanța de intrare Z_i^* este $4\pi l/\lambda_n$.

Pentru a găsi impedanța de intrare a unei linii lungi cu sarcină activă ($X_2^* = 0$) se alege cercul de egal R_2^* și se caută pe acest cerc în sens orar intersecția cu cercul l = constant.

Se pot construi diagrame circulare, ca în figura 6. Acestea lucrează cu impedanțe relative $Z_i^* = Z_i/Z_c$, astfel că impedanța caracteristică Z_c determină punctul de abscisă 1 pe axa reală.

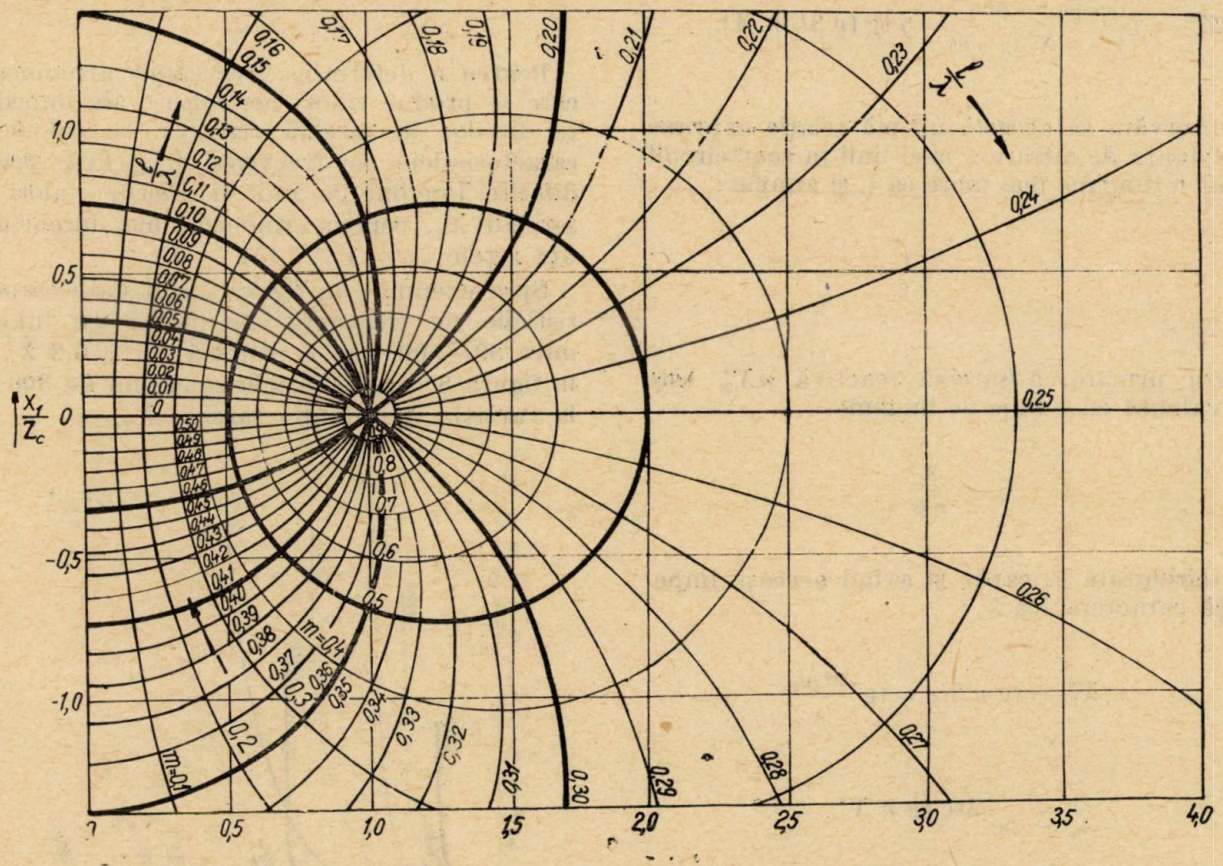


Fig. 6.

Pe diagrama circulară din figura 6 cercurile R_2^* = constant și l = constant au ecuațiile (1) și (2).

Linia cu sarcină reactivă ($R_2 = 0$)

Impedanța de intrare a liniei în sarcină, pentru o armonică superioară de ordin n, este :

$$Z_i = \frac{U_2 \cos n\beta l + j\, Z_c\, I_2 \sin n\beta l}{j \frac{U_2}{Z_c} \sin n\beta l + I_2 \cos n\beta l},$$

unde prin înlocuirea $U_2 = nX_2I_2$ se poate scrie

$$Z_i^* = j \frac{n\, X_2^* \cos n\beta l + \sin n\beta l}{\cos n\beta l - n\, X_2^* \sin n\beta l}.$$

De la această expresie, notînd prin $\operatorname{tg} A = n X_2^*$, $A = \operatorname{arc\,tg}\, n X_2^*$ se poate ajunge la forma

$$Z_i^* = j \frac{\operatorname{tg} n\beta l + n\beta l X_2^*}{1 - n X_2^* \operatorname{tg} n\beta l} = j \operatorname{tg} (n\beta l + A).$$

Observăm că această ultimă relaţie exprimă impedanţa de intrare a unei linii în scurtcircuit avînd o lungime mai mare ca l, şi anume :

$$l' = l + \frac{A}{n\beta}.$$

Prin urmare, o sarcină reactivă nX_2^* este echivalentă cu o linie de lungime

$$l_2 = \frac{A}{n\beta}$$

scurtcircuitată la capăt şi avînd aceeaşi impedanţă caracteristică Z_c :

$$n X_2^* = \operatorname{tg} n\beta l_2 = \operatorname{tg} \frac{2\pi n l_2}{\lambda}$$

sau

$$\frac{l_2}{\lambda_n} = \frac{1}{2\pi} \operatorname{arc\,tg}\, n X_2^*.$$

O linie cu sarcină reactivă $j\, n\, X_2^*$ se comportă deci ca o linie avînd o lungime mai mare cu l_2 decît cea reală şi funcţionînd în regim de scurtcirucit. Cînd $n\ X_2 > 0$ (inductivă) lungimea suplimentară $l_2 < \lambda/4$, iar cînd $n\, X_2 < 0$ (capacitivă) — $\lambda/4 < l_2 < \lambda/2$.

Valoarea impedanţei de intrare a liniei în sarcină reactivă :

$$Z_i^* = j \operatorname{tg} \frac{2\pi}{\lambda_n} (l + l_2)$$

se poate găsi grafic din curbele $Z_i^* = f\ (l/\lambda_n)$ date în figura 3 în care se deplasează axa ordonatelor cu o lungime l_2/λ spre valorile pozitive ale Z_i^*. Rezultă că valorile periculoase ale impedanţei de intrare la linia în sarcină au loc în punctele următoare :

$$\frac{l}{\lambda_n} = 0{,}25 - \frac{l_2}{\lambda_n} \ ; \quad Z_i^* = \infty$$

$$\frac{l}{\lambda_n} = 0{,}5 - \frac{l_2}{\lambda_n} \ ; \quad Z_i^* = 0$$

$$\frac{l}{\lambda_n} = 0{,}75 - \frac{l_2}{\lambda_n} \ ; \quad Z_i^* = \infty$$

$$\frac{l}{\lambda_n} = 1 - \frac{l_2}{\lambda_n} \ ; \quad Z_i^* = 0$$

Pentru a determina frecvenţele armonice la care se produc valori periculoase ale impedanţei liniilor în sarcină reactivă, se calculează caracteristicile de frecvenţă $Z_i = f(n)$ pentru diferite lungimi de linii şi diferite valori ale sarcinii X_2, pentru armonicile mai importante din reţele ($n = 1 \ldots 15$).

Spre exemplu, în figura 7 sînt date caracteristicile de frecvenţă ale liniilor cu lungimi între 50—500 km la sarcină $X_2 = 0{,}2\ Z_c$, iar în figura 8 caracteristicile unei linii de 300 km la variaţia impedanţei sarcinii X_2.

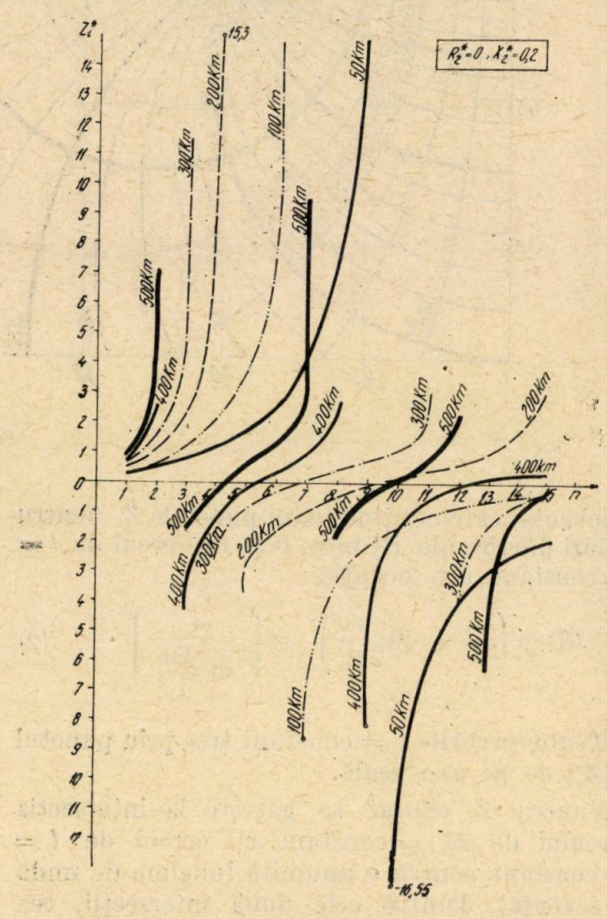


Fig. 7

De observat că impedanţa de intrare pentru armonicile 3 şi multiplu de 3 trebuie determinată separat, întrucît impedanţa caracteristică a liniei Z_{c0} şi constanta de fază β_0 au valori diferite în regim homopolar.

Din curbele calculate se relevă următoarele situaţii în care impedanţa liniei în sarcină este

teoretic nulă, ceea ce reprezintă un regim de scurtcircuit la o armonică de ordinul între 1 ... 15.

Sarcina liniei $\frac{X_2}{Z_c}$	Lungimea liniei l (km)	Ordinul armonicii n
0,1	200	11
0,1	300	8
0,1	400	13
0,1	500	5
0,2	200	10
0,2	300	7
0,2	500	10
0,2	400	13
0,6	200	8
0,6	500	4
0,8	200	8
1	200	8

De asemenea, se relevă situaţiile în care impedanţa de intrare armonică ia valori foarte mari :

Sarcina liniei $\frac{X_2}{Z_c}$	Lungimea liniei l (km)	Ordinul armonicii n
0,1	50	13
0,1	100	8
0,1	200	5
0,1	300	4
0,2	50	10
0,2	200	4
0,4	50	7
0,4	100	5
0,4	400	2
0,6	50	5
0,6	100	4
0,6	300	2
0,6	400	8
0,6	50	5
0,8	300	2
0,8	400	8
1	50	4
1	50	5

Linia cu sarcină complexă $Z_2 = R_2 + j\,X_2$.

Variaţia cu frecvenţa a impedanţei de intrare în cazul general al liniei cu sarcină complexă se poate studia pe diagrame circulare aplicînd echivalenţele exprimate în cele anterioare.

Astfel o linie de lungime l cu sarcină oarecare $Z_2^* = R_2^* + jnX_2^*$ poate fi reprezentată ca o linie prelungită cu lungimea l_2 şi alimentînd o sarcină activă R_2^*, cu condiţia ca :

$$l_2 = \frac{\text{arc tg. } n\,X_2^*}{n\beta}.$$

Pe diagrama din figura 6 se determină pe cercul de $R_2^* =$ constant, corespunzător sarcinii active R_2 date, un punct Z_2 care are ordonata $n\,X_2/Z_c$ dată.

Cercul $l =$ constant care trece prin acest punct Z_2 (fig. 10) determină lungimea l_2 a

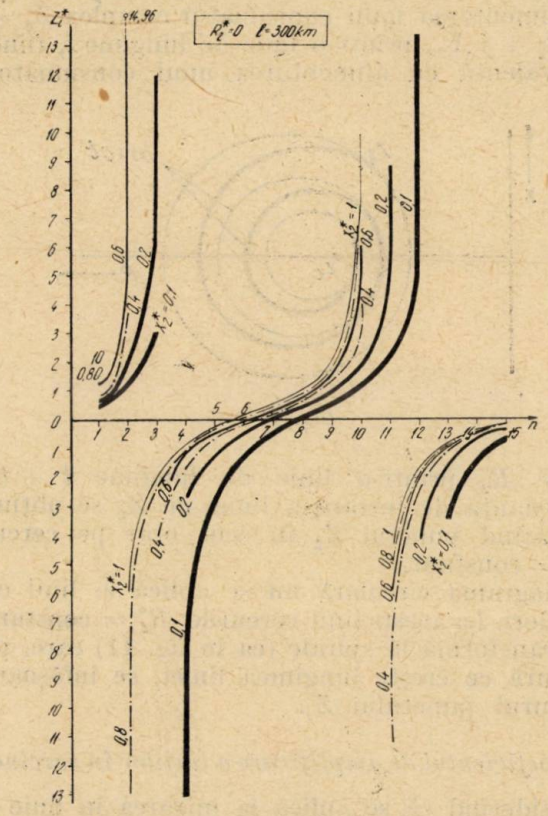


Fig. 8

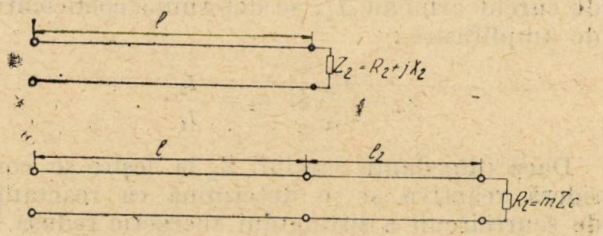


Fig. 9

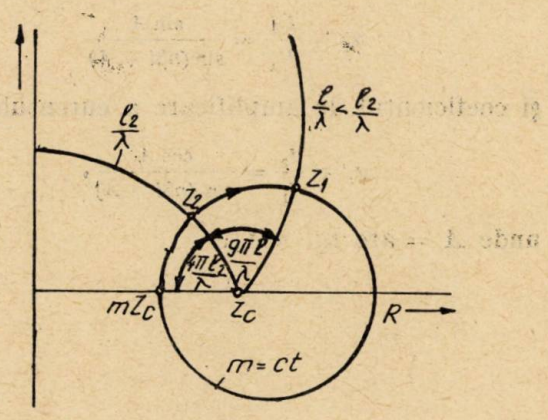


Fig. 10

prelungirii liniei. Valoarea impedanţei de intrare căutate Z_i se găseşte la intersecţia cercu-

lui $\left(\frac{l}{\lambda_n} + \frac{l_2}{\lambda_n}\right)$ = constant, cu cercul $R_2^* =$ constant, care corespunde sarcinii active $R_2 = m Z_c$.

Alimentarea unui consumator complex $Z_2 = R_2 + j X_2$, printr-o linie de lungime l, fiind echivalentă cu alimentarea unui consumator

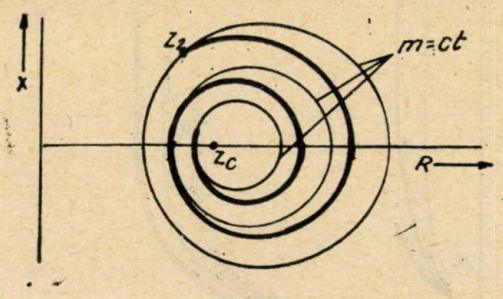


Fig. 11

activ R_2 printr-o linie de lungime $l + l_2$, impedanța de intrare a liniei cu Z_2 se obține deplasînd punctul Z_2 în sens orar pe cercul $R_2^* =$ constant.

Diagrama circulară nu se aplică la linii cu pierderi. La aceste linii cercurile $R_2^* =$ constant se transformă în spirale (ca în fig. 11) care, pe măsură ce crește lungimea liniei, se înfășoară în jurul punctului Z_c.

Coeficientul de amplificare a liniilor în sarcină.

Considerînd că se aplică la intrarea în linie o sursă de tensiune armonică U_n, sau o sursă de curent armonic I_n, se determină coeficientul de amplificare:

$$\alpha_u = \frac{U_2}{U_1} \text{ și } \alpha_i = \frac{I_2}{I_1}.$$

Dacă impedanța sarcinii Z_2 la ieșire se consideră reactivă și se determină ca reactanța de scurtcircuit a sistemului energetic redusă la punctul *2* al liniei, se obține coeficientul de amplificare a tensiunii armonice n:

$$\alpha_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\sin A}{\sin (n\beta l + A)}$$

și coeficientul de amplificare a curentului:

$$\alpha_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\cos A}{\cos (n\beta l + A)},$$

unde $A = \text{arc tg. } n X_2^*$.

Pentru exemplificare, în cazul liniei București-Sud — Barboși, reactanța de scurtcircuit la barele de 220 kV București:

$$X_2 = 20\ \Omega;\ X_2^* = 0{,}0645.$$

Coeficientul de amplificare a curentului de armonică 5, neglijînd factorii de atenuare din linie, rezultă:

$$\alpha_i = \frac{\cos 18^\circ}{\cos 90^\circ} = \infty;$$

$$\alpha_u = \frac{\sin 18^\circ}{\sin 90^\circ} = 0{,}309.$$

În cazul cînd calculul nu ia în considerare factorii de atenuare din sistem și din linie (efect corona, saturația magnetică, efectul pelicular), curentul armonic amplificat în linie rezultă teoretic infinit. Măsurările efectuate în sistem, în condiții reale, au arătat însă că componenta activă a sarcinii precum și factorii de atenuare au efectul de a reduce considerabil amplificarea teoretică α_i calculată.

Utilitatea calculului, după procedeele indicate mai sus, constă în cunoașterea domeniilor de apariție a fenomenelor de rezonanță armonică pentru determinarea configurațiilor critice în care sînt de așteptat supratensiuni periculoase.

Bibliografie

[1] Dimo, P., Arie, E., Manea, Fl., Ionescu, S., Nicolae, P. *Tratarea neutrului rețelelor de înaltă tensiune pentru evitarea supratensiunilor prelungite.* Editura Acad. R. S. România, București, 1960.

[2] Arie, A. și Selischi, A. *Studiul transmiterii și repartiției armonicilor superioare de curent într-un sistem electroenergetic staționar și liniar.* Institutul politehnic București, 1967.

[3] *Abnormal loads on power systems.* Symposium I.E.E., Londra, 1963.

[4] Meinke, H. H. *Einführung in die Elektrotechnik höherer Frequenzen.* Springer Verlag, Berlin, 1965.

[5] Prigent, H. *Production et propagation des frequences harmoniques dans les réseaux de transport d'énergie.* Revue Generale de l'Electricité, 62, nr. 6, iun. 1953, pag. 303–312.

[6] Cristovici, A. *Contribuții la analiza supratensiunilor regimurilor staționare simetrice din rețelele de foarte înaltă tensiune provocate de fenomenul de ferorezonanță pe armonicile superioare impare.* Energetica 14, nr. 8, aug. 1966, p. 367–372.

(Articol intrat în redacție la 13 mai 1968)

Cercetarea proceselor de propagare pe liniile electrice lungi cu pierderi, prin metoda diferențelor finite, cu referire la calculatoare analogice

Ing. I. Adămuț *)

Vehicularea energiei electromagnetice pe liniile electrice se desfășoară ca un proces ondulatoriu de propagare a undelor de tensiune și de curent atît în regimul staționar, cît și în regimul tranzitoriu. Creșterea impetuoasă a consumului de energie electrică a impus ridicarea continuă a tensiunilor de transport și, o dată cu aceasta, scumpirea echipamentului și aparatajului necesar liniilor și stațiilor de 400—500 kV, de curînd de 750 kV, iar în viitorul apropiat de 1000 kV [1], [2]. Cunoașterea cît mai în esență a proceselor tranzitorii generatoare de supratensiuni și de supracurenți este de aceea acum cu mult mai necesară și din punct de vedere economic, în scopul reducerii nivelurilor de izolație și al unei dimensionări optime a instalațiilor [3]. Pentru aceasta se impune și cunoașterea caracteristicilor izolatoarelor folosite în linii și stații în condiții normale [2], [4], [5] și în condiții de contaminare [2], [6], precum și a caracteristicilor aparatajului de protecție contra supratensiunilor și a criteriilor de stabilire a nivelurilor de protecție [2], [7].

Utilizarea unor modele fizice specializate [8], și mai ales a auxiliarelor moderne de calcul [9], [10], permite rezolvarea cu o precizie satisfăcătoare pentru inginer a unor probleme practic nesoluționabile pînă acum 10—15 ani, printre care se includ și procesele de propagare [8]. În afara metodei mixte a lanțului de cvadripoli, echivalent liniei ca un model fizic, rezolvat pe calculatorul analogic [11], [12], ecuațiile de propagare de ordinul 1 sau 2 se soluționează pe calculatoarele electronice analogice și cifrice prin metoda matematică a diferențelor finite [13], [14], [19]. În articolul de față se va indica modul de aplicare a acestei metode la rezolvarea ecuațiilor de propagare pe calculatoare electronice analogice, arătîndu-se și modelele respective.

1. Ecuațiile de propagare pe o linie electrică Să considerăm o linie electrică unifilară de lungime L, de parametri lineici longitudinali r_0, l_0 — rezistența și inductivitatea lineică — și parametrii lineici transversali g_0, c_0 — conductanța și capacitatea lineică. Linia este alimentată de la o sursă de tensiune u_e și rezistența R_a și are racordat un consumator de impedanță operațională $Z(p)$ (fig. 1).

Ecuațiile de propagare a tensiunii și curentului pe linie și condițiile la limită și inițiale sînt indicate în tabela 1.

Rezolvarea ecuațiilor cu derivate parțiale prin metoda diferențelor finite în cazul liniilor electrice constă în înlocuirea lor prin ecuații

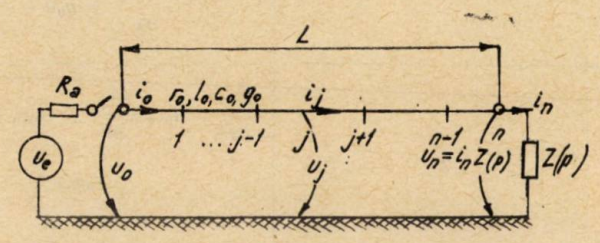


Fig. 1. Schema electrică a unei linii lungi unifilare cu pierderi.

diferențiale ordinare prin procedeul următor: se discretizează variabila spațială continuă x, la intervale de obicei egale (fig. 2): $\Delta x = \frac{L}{n} = h$, $x_j = jh$ ($j = 0,1\ \text{m}, \cdots n$); se înlocuiește diferențiala mărimilor căutate, u și i, la sistemul de ecuații de ordinul 1, u sau i la ecuația de ordinul 2, cu așa-numita diferență [13], [19], în punctul x_j, Δu_j, Δi_j (tabela 2); se înlocuiește diferențiala spațială dx cu h; se explicitează diferențiala mărimilor necunoscute în funcție de timp $\frac{du}{dt}$, $\frac{di}{dt}$, $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ în ecuațiile (1) — (3) (tabelele 3 și 4); se integrează ecuațiile obținute și ecuațiile (7) — (9) pe calculator.

La ecuațiile telegrafiștilor generalizate mai sînt necesare și alte operații mai complicate,

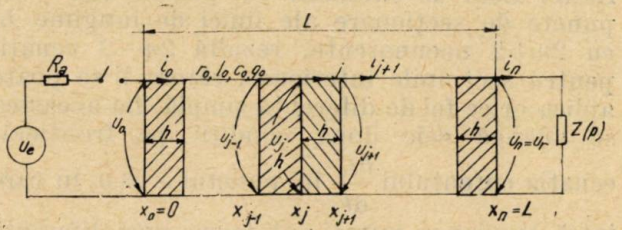


Fig. 2. Schema echivalentă a unei linii cu constante uniform repartizate pentru rezolvare prin metoda diferențelor finite.

care fac obiectul unor cercetări actuale și de viitor în Institutul de energetică.

2. Modelul analogic al ecuațiilor telegrafiștilor de ordinul 1. În lucrarea [13] s-au dedus expresiile derivatei spațiale $\frac{d\varphi}{dx}$ în funcție de diferențele finite de ordinul 1 simple și de diferențele finite îmbunătățite [19]. În cele ce urmează se prezintă sistemele de ecuații dife-

*) Ing. I. Adămuț este cercetător științific principal la Institutul de energetică al Academiei R. S. România.

Ordinul ecuației	Ecuațiile telegrafiștilor clasice	Ecuațiile telegrafiștilor generalizate**)
1	$\frac{-\partial u}{\partial x} = r_0 i + l_0 \frac{\partial i}{\partial t}$ (1) $\frac{-\partial i}{\partial x} = g_0 u + c_0 \frac{\partial u}{\partial t}$ (2)	$\frac{-\partial u}{\partial x} = l_e \frac{\partial i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t}\int_0^t r(t-\xi)\, i(x,\xi)\, d\xi$ (4) $\frac{-\partial i}{\partial x} = c_{st} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t}\int_0^t g(t-\xi)\, u(x_1\xi)\, d\xi$ (5)
2	$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = l_0 c_0 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + (r_0 c_0 + l_0 g_0)\frac{\partial \varphi}{\partial t} + r_0 g_0 \varphi$ *) (3)	$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = l_e c_{st} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + g_0 l_e \frac{\partial \varphi}{\partial t} + g_0 \frac{\partial}{\partial t}\int_0^t r(t-\xi)\,\varphi(x,\xi)\,d\xi + c_{st}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\int_0^t r(t-\xi)\,\varphi(x,\xi)\,d\xi$ (6)

Ordinul diferenței \ Tipul diferenței	În urmă (în amonte)	În avans (în aval)
1	$\nabla\varphi_j = \varphi(x_j) - \varphi(x_j - h)$	$\Delta\varphi_j = \varphi(x_j + h) - \varphi(x_j)$
2	$\nabla^2\varphi_j = \varphi(x_j) - 2\varphi(x_j - h) + \varphi(x_j - 2h)$	$\Delta^2\varphi_j = \varphi(x_j + 2h) - 2\varphi(x_j + h) + \varphi(x_j)$

rențiale care determină procesul de propagare și modelele lor analogice. Se menționează că în cazul liniilor electrice la care se dau de obicei condițiile inițiale — relația (7) — și condițiile pe frontieră — relațiile (8) și (9) — avem de rezolvat o problemă Cauchy și o problemă Dirichlet pentru ecuații de tip hiperbolic [20]. În figura 2 se arată schema liniei cu secționările de pas h în cadrul metodei diferențelor finite. Este de subliniat că, pentru cele $n+1$ puncte de secționare ale liniei de lungime L, cu $2n+2$ necunoscute, rezultă $2n-2$ ecuații pentru secțiunile interioare, cărora li se poate aplica orice fel de diferență simplă. La aceastea se adaugă cele două condiții pe frontieră, ecuația curentului $\frac{di_0}{dt}$ în punctul $x = 0$, în care intră tensiunea numai sub forma unei diferențe finite în avans, singura posibilă fizic, și ecuația diferențială a tensiunii sau curentului în punctul $x_n = L$, în care se poate folosi numai diferența în urmă, tot din motive de structură.

2.1. *Diferențe finite simple.* Ecuațiile de propagare de ordinul 1 pentru linia dată se pot scrie deci în șase moduri, corespunzînd celor trei tipuri de diferențe pentru secțiunile interioare și celor două posibilități de utilizare a ecuației (9), fie pentru determinarea tensiunii u_n curentul fiind dedus din ecuuația diferențială pentru punctul x_n, fie invers. În principiu, ar trebui să nu existe diferențe între cele două situații; totuși, întrucît mărimile u și i au valori aproximative în ecuații [13], este posibil să apară diferențe sesizabile, mai ales la număr redus de secțiuni.

Teoretic, precizia cea mai bună va fi în cazul diferențelor centrale pentru secțiunile interioare. Evident că pot fi folosite și diferențele finite în urmă și în avans. Ecuațiile diferențiale cu care se rezolvă cele șase cazuri virtual posibile sînt cuprinse în tabela 3. Este de subliniat faptul că, din cauza diferenței finite obligate la extremitățile liniei, apare o limitare la determinarea curenților, la folosirea variantei a și a tensiunilor în cazul variantei b, în sensul că sînt identice ecuațiile din coordonatele x_0 și x_1 în cazul diferenței în urmă și cele din coordonatele x_n și x_{n-1} în cazul diferenței în avans. De aceea este necesar a se folosi pentru coordonatele respective expresiile de la alte tipuri de diferență.

În figura 3 este arătat modelul analogic al sistemului de ecuații corespunzînd diferenței centrale, în varianta a, pentru secțiunea n. S-a considerat că $g_0 = 0$, situație conformă cu practica, în regimuri de funcționare a liniilor fără fenomen corona [17]. La considerarea parametrului lineic $g_0 \neq 0$, ar mai apărea și mărimea de reacție la amplificatoarele ce dau tensiunea. Se subliniază că și în cazul celorlalte două feluri de diferențe modelul ar fi același ca structură, diferind doar rezistențele decadice, care ar avea valori de două ori mai mici pentru toate punctele intermediare.

Tabela 1

Condiții inițiale și la limită	Observații
$u(x, 0) = u'(x, 0) = i(x, 0) = i'(x, 0) = 0$ (7)	
$u(0, t) = u_0 = u_e - R_a i_0$ (8)	l_e = inductivitatea lineică exterioară
$u(L, t) = Z(p)\, i\ (L, t)$ (9)	c_{st} = capacitatea lineică electrostatică
	*) φ reprezintă pe u sau i.
	**) Aceste ecuații au fost introduse în știință și tehnică în anii 1965–1966 la Institutul de energetică al Academiei R.S.R., de un colectiv condus de acad. R. Răduleț [15] [16].

Tabela 2

Centrală	Observații
$\delta\varphi_j = \varphi(x_j + h) - \varphi(x_j - h)$ *)	*) De fapt, diferența centrală de ordinul 1, riguros definită, are creșterea $\pm h/2$, nu $\pm h$; dar aceasta nu poate fi rezolvată pe calculatorul analogic, ea revenind la relațiile din acest tabel cu număr dublu de secțiuni $2n$.
$\delta^2\varphi_j = \varphi(x_j + h) - 2\varphi(x_j) + \varphi(x_j - h)$	

Expresiile rezistențelor decadice deduse după indicațiile din anexa 1 sînt :

$$R_i = \frac{2l_c\, m_\tau\, \alpha_0}{\beta_0}\ [\mathrm{M\Omega}]; \qquad R_u = \frac{2c_c\, m_\tau\, \beta_0}{\alpha_0}\ [\mathrm{M\Omega}];$$

$$R_{rp} = m_\tau\, \tau_0\ [\mathrm{M\Omega}]; \quad r_1 = \frac{\beta_0}{\alpha_0}\,\frac{10^5}{R_r}\ [\Omega], \qquad (10)$$

unde $l_e = h\, l_0$ și $c_e = h c_0$.

Modelul din figura 3 se folosește atunci cînd avem nevoie de valorile pozitive și ale tensiunii și ale curentului. În acest caz sînt necesare patru amplificatoare operaționale pe secțiune. Cînd ne interesează valorile pozitive numai ale uneia dintre ele, se poate modela fiecare secțiune numai cu trei amplificatoare, obținînd cealaltă mărime cu semne alternate în grupuri succesive de cîte două.

2.2. *Diferențe finite îmbunătățite.* Folosind diferențele finite îmbunătățite, se ridică ordinul derivatei primului termen nenul al restului la $n + 1$, pentru toate coordonatele x_j nesimetrice, față de extremități, și la ordinul $n + 2$ pentru punctul central, n fiind numărul de secțiuni în care s-a divizat linia (13). În tabela 4 sînt cuprinse ecuațiile diferențiale de ordinul 1 și 2 ale unei linii divizate în trei și patru secțiuni. Se observă că coeficienții ce intră în diferențele finite pentru coordonatele simetrice față de extremități sînt identici dacă se alege valoarea 1 pentru coeficientul mărimii φ_j (u_j,

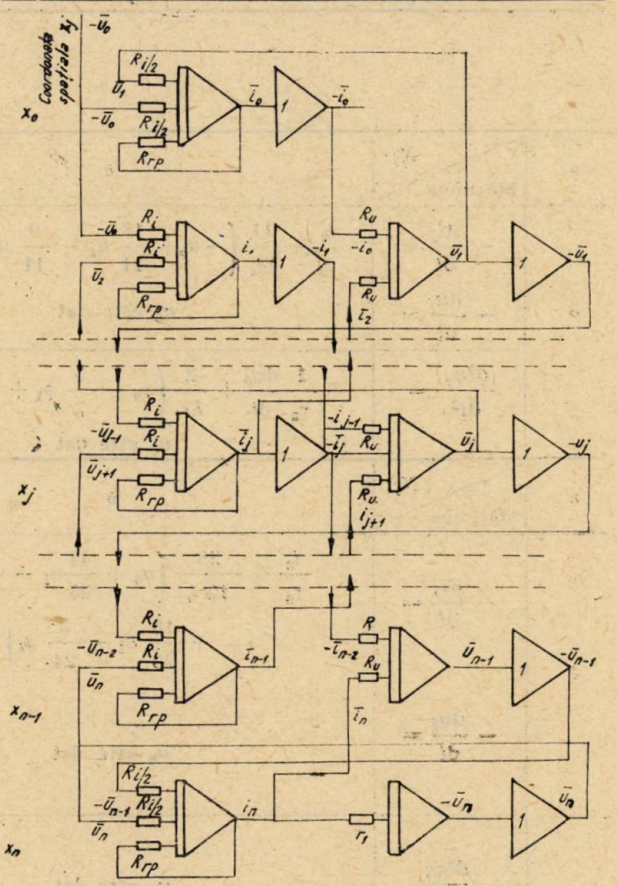


Fig. 3. Modelul analogic al ecuațiilor tensiunii și curentului cu diferențe centrale de ordinul 1 (tabela 3).

Ordinea punctului x_j, j	Coordonata spațială x_j		Ecuațiile tensiunii u	
			Diferența centrală δ	Diferența în urmă ∇
0	0		$u(0,t) = u_0$ (dat)	
1	$\frac{L}{n} = h$		$-\frac{du_1}{dt} = \frac{u_j}{\tau_r} + \frac{1}{2h c_0}(i_2 - i_0)$	$-\frac{du_1}{dt} = \frac{u_1}{\tau_r} + \frac{1}{hc_0}(i_1 - i_0)$
—	—		—	—
$\overset{j}{j=1,2,3\ldots(n-1)}$	$j\frac{L}{n} jh$		$-\frac{du_j}{dt} = \frac{u_j}{\tau_r} + \frac{1}{2h c_0}(i_{j+1} - i_{j-1})$	$-\frac{du_j}{dt} = \frac{u_j}{\tau_r} + \frac{1}{hc_0}(i_j - i_{j-1})$
$n-1$	$(n-1)\frac{L}{n} = (n-1)\,h$		$-\frac{du_{n-1}}{dt} = \frac{u_{n-1}}{\tau_r} + \frac{1}{2h c_0}(i_n - i_{n-2})$	$-\frac{du_{n-1}}{dt} = \frac{u_{n-1}}{\tau_r} + \frac{1}{hc_0}(i_{n-1} - i_{n-2})$
n	$L = nh$	*a*	$u_n = Z(p)\, i_n$	
		b	$-\frac{du_n}{dt} = \frac{u_n}{\tau_r} + \frac{1}{hc_0}(i_n - i_{n-1})$	

n	X_j / Mărimea	0	1
3	$-\frac{di_j}{dt} =$	$\frac{i_0}{\tau_0} + \frac{11}{6l_c}\left(-u_0 + \frac{18}{11}u_1 - \frac{9}{11}u_2 + \frac{2}{11}u_3\right)$	$\frac{i_1}{\tau_0} + \frac{1}{2l_c}\left(-\frac{2}{3}u_0 - u_1 + 2u_2 - \frac{u_3}{3}\right)$
	$-\frac{du_j}{dt} =$	u_0 este dat	$\frac{u_1}{\tau_r} + \frac{1}{2c_c}\left(-\frac{2}{3}i_0 - i_1 + 2i_2 - \frac{i_3}{3}\right)$
	$\frac{d^2\varphi_j}{dt^2} =$	$-\frac{1}{\tau_0}\frac{d\varphi_0}{dt} + \frac{2}{l_c c_c}\left(\varphi_0 - \frac{5}{2}\varphi_1 + 2\varphi_2 - \frac{\varphi_3}{2}\right)$ u_0 este dat	$-\frac{1}{\tau^0}\frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{1}{l_c c_c}(\varphi_0 - 2\varphi_1 + \varphi_2)$

n	X_j / Màrimea	0	1
4	$-\frac{di_j}{dt} =$	$\frac{i_0}{\tau_0} + \frac{25}{12\,l_c}\left(u_0 + \frac{48}{25}u_1 - \frac{36}{25}u_2 + \frac{16}{25}u_3 - \frac{3}{24}u_4\right)$	$\frac{i_1}{\tau_0} + \frac{5}{6\,l_c}\left(-\frac{3}{10}u_0 - u_1 + \frac{9}{5}u_2 - \frac{3}{5}u_3 + \frac{u_4}{10}\right)$
	$-\frac{du_j}{dt} =$	u_0 este dat	$\frac{u_1}{\tau_r} + \frac{5}{6\,c_c}\left(-\frac{3}{10}i_0 - i_1 + \frac{9}{5}i_2 - \frac{3}{5}i_3 + \frac{i_4}{10}\right)$
	$\frac{d^2\varphi_j}{dt^2}$	u_0 este dat	$-\frac{1}{\tau_0}\frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{5}{3\,l_c c_c}\left(\frac{11}{20}\varphi_0 - \varphi_1 + \frac{3}{10}\varphi_2 + \frac{1}{5}\varphi_3 - \frac{1}{20}\varphi_4\right)$

Tabela 3

Diferența în avans Δ	Ecuațiile curentului i			Observații
	Diferența centrală δ	Diferența în urmă ∇	Diferența în avans Δ	
	$-\frac{di_0}{dt}=\frac{i_0}{\tau_0}+\frac{1}{hl_0}(u_1-u_0)$			$\tau_r=\frac{c_0}{g_0}$ $\tau_0=\frac{l_0}{r_0}$
$-\frac{du_1}{dt}=\frac{u_1}{\tau_r}+\frac{1}{hc_0}(i_2-i_1)$	$-\frac{di_1}{dt}=\frac{i_1}{\tau_0}+\frac{1}{2hl_0}(u_2-u_0)$	$-\frac{di_1}{dt}=\frac{i_1}{\tau_0}+\frac{1}{hl_0}(u_1-u_0)$	$-\frac{di_1}{dt}=\frac{i_1}{\tau_0}+\frac{1}{hl_0}(u_2-u_1)$	
–	–	–	–	
$-\frac{du_j}{dt}=\frac{u_j}{\tau_r}+\frac{1}{hc_0}(i_{j+1}-i_j)$	$-\frac{di_j}{dt}=\frac{i_j}{\tau_0}+\frac{1}{2hl_0}(u_{j+1}-u_{j-1})$	$-\frac{di_j}{dt}=\frac{i_j}{\tau_0}+\frac{1}{hl_0}(u_j-u_{j-1})$	$-\frac{di_j}{dt}=\frac{i_j}{\tau_0}+\frac{1}{hl_0}(u_{j+1}-u_j)$	
$-\frac{du_{n-1}}{dt}=\frac{u_{n-1}}{\tau_r}+\frac{1}{hc_0}(i_n-i_{n-1})$	$-\frac{di_{n-1}}{dt}=\frac{i_{n-1}}{\tau_0}+\frac{1}{2hc_0}(u_n-u_{n-2})$	$-\frac{di_{n-1}}{dt}=\frac{i_{n-1}}{\tau_0}+\frac{1}{hl_0}(u_{n-1}-u_{n-2})$	$-\frac{di_{n-1}}{dt}=\frac{i_{n-1}}{\tau_0}+\frac{1}{hl_0}(u_n-u_{n-1})$	
	$-\frac{di_n}{dt}=\frac{i_n}{\tau_0}+\frac{1}{hl_0}(u_n-u_{n-1})$			
	$i_n=u_n/Z(p)$			

Tabela 4

2	3	Observații
$\frac{i_2}{\tau_0}+\frac{1}{2l_c}\left(-\frac{u_0}{3}+2u_1-u_2-\frac{2}{3}u_3\right)$ $\frac{u_2}{\tau_r}+\frac{1}{2c_c}\left(\frac{i_0}{3}-2i_1+i_2+\frac{2}{3}i_3\right)$	$\frac{i_3}{\tau_0}+\frac{11}{6l_c}\left(-\frac{2}{11}u_0+\frac{9}{11}u_1-\frac{18}{11}u_2+u_3\right)$ $u_3=i_3Z(p)$	$\tau_r\neq\infty$
$-\frac{1}{\tau_0}\frac{d\varphi_2}{dt}+\frac{1}{l_cc_c}(\varphi_1-2\varphi_2+\varphi_3)$	$\frac{du_3}{dt}=\frac{R_r}{l_c}u_2-\left(\frac{R_r}{l_c}+\frac{1}{\tau_0}\right)u_3$	$\tau_r=\infty$

2	3	4	Observații
$\frac{i_2}{\tau_0}+\frac{1}{12\,l_c}(u_0-8u_1+8u_3-u_4)$ $\frac{u_2}{\tau_r}+\frac{1}{12\,c_c}(i_0-8i_1+8i_3-i_4)$	$\frac{i_3}{\tau_0}+\frac{5}{6l_c}\left(-\frac{u_0}{10}+\frac{3}{5}u_1-\frac{9}{5}u_2+u_3+\frac{3}{10}u_4\right)$ $\frac{u_3}{\tau_r}+\frac{5}{6\,c_c}\left(-\frac{i_0}{10}+\frac{3}{5}i_1-\frac{9}{5}i_2+i_3+\frac{3}{10}i_4\right)$	$\frac{i_4}{\tau_0}+\frac{25}{12\,l_c}\left(\frac{3}{25}u_0-\frac{16}{25}u_1+\frac{36}{25}u_2-\frac{48}{25}u_3+u_4\right)$ $u_4=i_4Z(p)$	$\tau_r\neq\infty$
$-\frac{1}{\tau_0}\frac{d\varphi_2}{dt}+\frac{5}{2\,l_cc_c}\left(-\frac{1}{30}\varphi_0+\frac{8}{15}\varphi_1-\varphi_2+\frac{8}{15}\varphi_3-\frac{1}{30}\varphi_4\right)$	$-\frac{1}{\tau_0}\frac{d\varphi_3}{dt}+\frac{5}{3\,l_c\,c_c}\left(-\frac{\varphi_0}{20}+\frac{\varphi_1}{5}+\frac{3}{10}\varphi_2-\varphi_3+\frac{11}{20}\varphi_4\right)$	$\frac{du_4}{dt}=\frac{R_r}{l_c}u_3-\left(\frac{R_r}{l_c}+\frac{1}{\tau_0}\right)u_4$	$\tau_r=\infty$

i_j) [13], avînd semne opuse la diferenţialele de ordinul 1 şi acelaşi semn la diferenţialele de ordinul 2.

Pentru rezolvarea sistemelor de ecuaţii din tabela 4, sînt necesare patru amplificatoare pentru fiecare secţiune : două integratoare şi două sumatoare (inversoare), rezistenţele decadice depinzînd de numărul de secţiuni ale liniei (fig. 4). Spre exemplu, la divizarea liniei

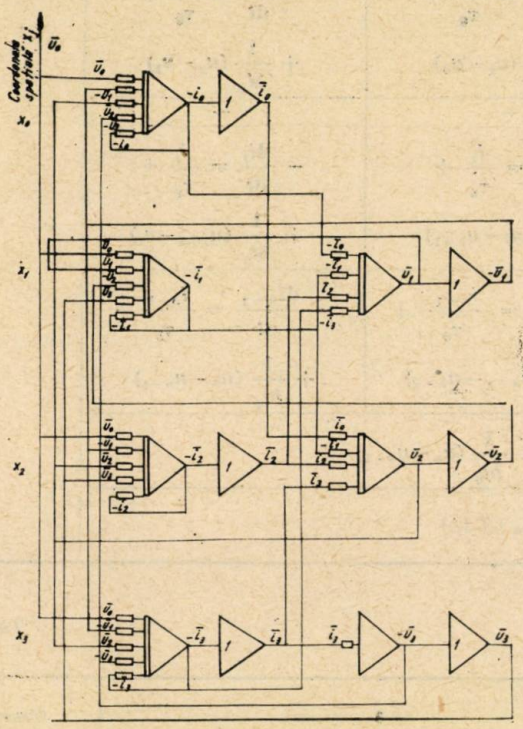


Fig. 4. Modelul analogic al ecuaţiilor de ordinul 1 ale tensiunii şi curentului cu diferenţe finite îmbunătăţite, pentru $n = 3$.

în şase secţiuni, sînt necesare 26 amplificatoare operaţionale şi 85 rezistenţe decadice pentru linia cu pierderi, utilizînd practic întreaga capacitate a calculatorului MECAN II [(18)] şi numai 72 rezistenţe pentru linia fără pierderi, corespunzînd lui $n \leqslant 7$.

Rezistenţele decadice ale modelului din figura 4 se determină separat pentru fiecare amplificator operaţional, după procedura indicată în anexa 1 şi în lucrările [12], [19].

3. Modelul analogic al ecuaţiilor telegrafiştilor de ordinul 2.

3.1. *Diferenţe finite simple.* Se deduce din programarea ecuaţiilor (3), din tabela 1, pentru care se foloseşte acelaşi model fizic al liniei (fig. 2).

Aplicînd diferenţele finite centrale de ordinul 2, se obţine pentru calculator ecuaţiile :

Pentru tensiuni :

$$\frac{d^2 u_j}{dt^2} = v^2 h^2 (u_{j+1} - 2u_j + u_{j-1}) - \frac{1}{\tau_0}\frac{du_j}{dt},$$
$$(j = 1, 2, \cdots, n-1). \qquad (11)$$

Din condiţia la limită (9), se obţine prin derivare :

$$\frac{du_n}{dt} = R_n \frac{di_n}{dt}, \qquad (12)$$

unde $Z(p) = R_r$.

Pentru $x = x_n = L$, din ecuaţiile (1) şi (11), după înlocuirea derivatei spaţiale a lui u_n cu diferenţa finită în urmă de ordinul 1 şi explicitarea derivatei tensiunii u_n, se obţine :

$$\frac{du_n}{dt} = \frac{R_r}{l_c} u_{n-1} - \left(\frac{R_r}{l_c} + \frac{1}{\tau_0}\right) u_n. \qquad (13)$$

Modelul analogic al ecuaţiilor (11) şi (13) este reprezentat în figura 5.

Rezistenţele de intrare în amplificatoarele operaţionale integratoare ale secţiunilor $k = 1, 2, n-1$ sînt date de relaţiile :

$$R_u = r_2 = \frac{m_\tau^2}{v_0^2} h^2 \ [\mathrm{M\Omega}] \ (v_0 \text{ în km. s}^{-1}; \ h \text{ în km}) \qquad (14)$$

$$r_1 = \frac{r_2}{2}; \quad R_{rp} = r_3 = m_\tau \cdot \tau_0 \ [\mathrm{M\Omega}].$$

Rezistenţele secţiunii n sînt :

$$r_4 = \frac{m_\tau}{\frac{v_0}{h} + \frac{1}{\tau_0}} \ [\mathrm{M\Omega}]; \ r_5 = \frac{m_\tau}{v_0}\frac{L}{n} \ [\mathrm{M\Omega}]. \qquad (15)$$

Relaţiile obţinute sînt identice cu cele ale secţiunilor din interior de la metoda lanţului de cvadripoli [13], faţă de care sistemul de ecuaţii este mai simplu, avînd toate secţiunile identice şi existînd coincidenţă între coordonatele parametrice, c_j, l_j, r_j şi coordonatele spaţiale x_j [12].

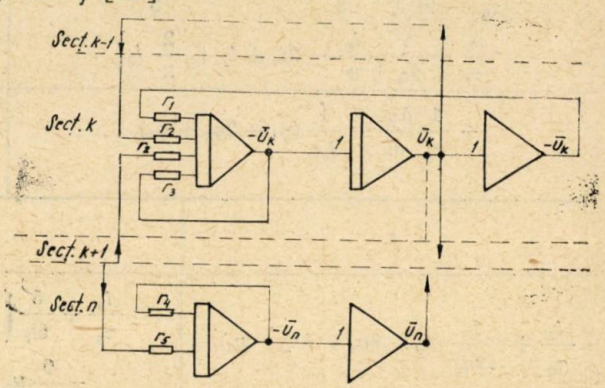


Fig. 5. Modelul analogic al ecuaţiilor de ordinul 2 cu diferenţe finite simple centrale pentru tensiune.

3.2. *Diferenţe finite îmbunătăţite.* În tabela 4 sînt cuprinse şi expresiile diferenţelor finite îmbunătăţite pentru diferenţiala spaţială de ordinul 2, pentru $n = 3$ şi $n = 4$. Se observă că diferenţele din punctele x_1 şi x_2 pentru $n = 3$ sînt diferenţe centrale de ordinul 2. Întrucît tensiunile la cele două extremităţi x_0 şi x_3 sînt date prin condiţiile pe frontieră, rezultă că în

cazul diferenţialelor de ordinul 2 putem folosi diferenţele finite îmbunătăţite numai de la $n = 4$. În figura 6 se arată modelul pentru această divizare. Se observă că sînt necesare numai 11 amplificatoare operaţionale şi 25 rezistenţe decadice. Pentru $n = 9$ ar fi necesare 26 amplificatoare operaţionale şi 98 rezistenţe decadice, primii

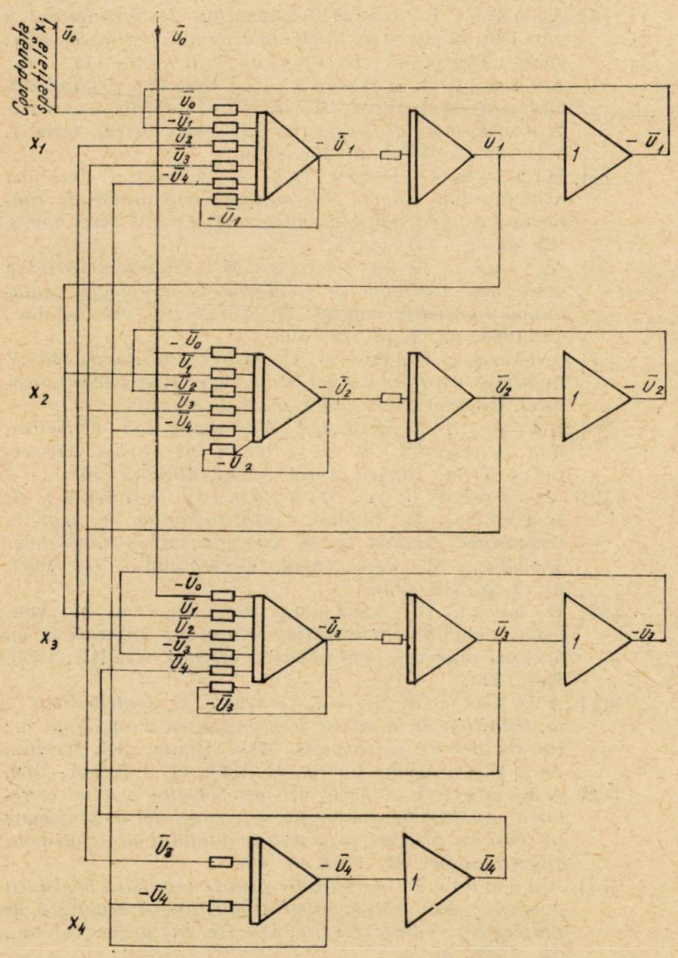


Fig. 6. Modelul analogic al ecuaţiilor de ordinul 2 cu diferenţe finite îmbunătăţite pentru tensiune, $n = 4$.

termeni nenuli ai restului fiind derivate de ordinul 10 şi 11.

Curentul în punctele x_j interioare se obţine în acelaşi mod ca tensiunile. Pentru coordonatele x_0 şi x_n se folosesc ecuaţiile de ordinul 1. Curentul i_0 se obţine din ecuaţiile :

$$-\frac{di_0}{dt} = \frac{i_0}{\tau_0} + \frac{u_1}{l_c} - \frac{u_0}{l_c}, \qquad (16)$$

$$-\frac{du_1}{dt} = \frac{1}{2c_c}(i_2 - i_0), \qquad (17)$$

iar curentul i_n din ecuaţia :

$$\frac{di_n}{dt} = -\frac{1}{R_r c_c}(i_n - i_{n-1}). \qquad (18)$$

4. **Ecuaţii de ordinul 1 sau ecuaţii de ordinul 2.** Eroarea de aproximare teoretică între ecuaţiile de propagare de ordinul 1 şi ecuaţiile de propagare de ordinul 2 la diferenţe finite simple este în favoarea ecuaţiilor de ordinul 2 [13].

Încercările de modelare în lanţ a ecuaţiilor de ordinul 2 au dat rezultate negative, cel puţin pentru $n = 5$ şi $n = 10$ secţiuni. În figura 7 se arată o diagramă în care răspunsurile la tensiunile aplicate pe modelele individuale ale celor cinci secţiuni, *1*, *3*, *4*, *6*, *10*, cuplate cu modelul receptorului *11*, se suprapun exact (curbele *a*, *b*) ; în schimb, răspunsul la tensiunea aplicată lanţului format din cele cinci secţiuni (curbele *a'*, *b'*) sînt mult distorsionate faţă de răspunsul teoretic. Curbele *a*, *a'* sînt răspunsuri la tensiunea treaptă, iar curbele *b*, *b'* la o tensiune de impuls 1/17. Linia modelată are lungimea de 125 km.

Rezultă deci că schema ecuaţiilor de ordinul 2 este instabilă, cel puţin la un număr redus de secţiuni. Problema urmează a se mai studia pentru sine, întrucît studiul propagării pe linii prin modelarea sistemului de ecuaţii de ordinul 1 dă rezultate de o precizie satisfăcătoare. Dacă se aleg diferenţe finite centrale de ordinul 1, restul este format din suma derivatelor impare începînd cu ordinul 3, în timp ce la diferenţa finită centrală de ordinul 2 se compune din suma derivatelor de ordin par începînd cu ordinul 4.

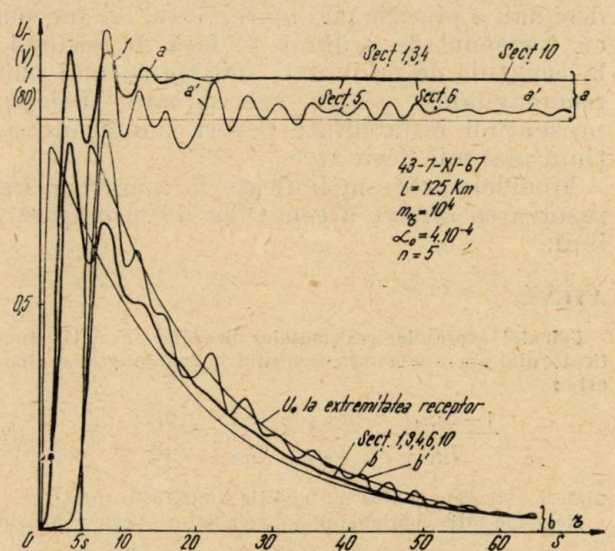


Fig. 7. Diagramele răspunsurilor pe secţiuni individuale şi în lanţ pentru ecuaţii de ordinul 2 la o linie fără pierderi.

Este evident că o mărire a numărului de secţiuni poate compensa diferenţa de precizie între cele două ordine ale ecuaţiilor, în aşa fel încît se justifică utilizarea sistemului de ecuaţii de ordinul 1. În sprijinul acestei afirmaţii se menţionează şi concluziile unor matematicieni de prestigiu [20], care spun că este mult mai indicat a se folosi în problemele fizicii matematice sistemul de ecuaţii cu derivate parţiale de ordi-

nul 1 de tip hiperbolic, exprimînd nemijlocit fenomenele, avînd generalitate şi simplitate.

În ce priveşte utilizarea diferenţelor finite îmbunătăţite la ecuaţiile de ordinul 2, se remarcă avantajul important constînd din posibilitatea obţinerii succesive a mărimilor u şi i, fapt care are drept consecinţă reducerea la circa 1/2 a numărului de amplificatoare operaţionale şi rezistenţe decadice faţă de cele utilizate la ecuaţiile de ordinul 1. Din această cauză se poate mări numărul secţiunilor la $n = 9$, atît pentru tensiuni cît şi pentru curenţi, îmbunătăţindu-se şi mai mult precizia.

Concluzii. Procesele de propagare a tensiunilor şi curenţilor pe liniile electrice lungi în regim tranzitoriu se pot studia cu suficientă precizie prin metoda matematică a diferenţelor finite. Ecuaţiile obţinute se programează comod pe calculatoare analogice, ele fiind însă la fel de uşor rezolvabile şi pe calculatoare digitale.

Folosirea diferenţelor finite îmbunătăţite pentru derivata spaţială dă o precizie mai ridicată, permiţînd micşorarea restului neglijat prin ridicarea ordinului primului termen diferenţial al acestuia la $n+1$ şi $n+2$. În cazul calculatorului analogic MECAN II, acesta înseamnă 7 şi 8 pentru ecuaţiile de ordinul 1, şi 10 şi 11 pentru ecuaţiile de ordinul 2.

Diferenţele finite simple centrale de ordinul 2, deşi dau o precizie mai mare, restul lor începînd cu termenul de ordinul 4, faţă de ordinul 3 la ecuaţiile de ordinul 1, sînt totuşi mai puţin recomandabile pentru calculatoare analogice, prezentînd instabilitate pentru număr de secţiuni mai mic decît zece.

Modelele-program indicate în lucrare permit rezolvarea directă a ecuaţiilor de propagare pe linii.

ANEXĂ

Calculul expresiilor rezistenţelor decadice. Ecuaţia amplificatorului operaţional al curentului la coordonata x_j (fig. 3) este :

$$\frac{|-\bar{u}_{j-1}|}{R_{i1}} + \frac{\bar{u}_{j+1}}{R_{i2}} + \frac{|\bar{i}_j|}{R_{rp}} + c\frac{|\mathrm{d}\bar{i}_j|}{\mathrm{d}t} = 0, \qquad \text{(A.1)}$$

unde c este capacitatea din reacţia amplificatorului.

Relaţiile între mărimile de pe calculator şi cele reale sînt :

$$\bar{u} = \alpha_0 u; \qquad \bar{i} = \beta_0 i; \qquad \tau = m_\tau t. \qquad \text{(A.2)}$$

Substituind relaţiile (A.2) în (A.1) şi explicitînd mărimea $\frac{\mathrm{d}i_j}{\mathrm{d}t}$, se obţine ecuaţia :

$$\frac{\mathrm{d}i_j}{\mathrm{d}t} = \frac{m_\tau \alpha_0}{c\,\beta_0 R_{i1}}|u_{j-1}| + \frac{\alpha_0 m_\tau}{c\,\beta_0 R_{i2}}|u_{j+1}| + \frac{m_\tau}{cR_{rp}}|\bar{i}_j| \qquad \text{(A.3)}$$

Identificînd ecuaţia (A.3) cu ecuaţia lui $\frac{\mathrm{d}i_j}{\mathrm{d}t}$ din tabela 1, se obţine : R_i — relaţiile (10) din text — pentru c, capacitatea din reacţia amplificatorului egală cu 1 μF.

În acelaşi mod se obţine R_u pentru tensiuni în punctele interioare şi r_1 pentru tensiunea u_n, considerînd $Z(p) = R_r$.

Bibliografie

[1] Ailleret, P. *Le choix du nouvel e peut-être dernier échelon de tension en courant alternatif — 700 — 765/765kV.* Rev. Gén. Electr. nr. 531, Dec. 1962.

[2] Dinculescu, C., Drăgan, G. şi Adămuţ, I. *La coordination de l'isolement des installations électro-énergetiques de haute tension.* Bul. I.P.B. XXVI, nr. 6, 1964, p. 57—77.

[3] Adămuţ, I. *Analiza fenomenelor de deconectare a unei linii în gol cu un întreruptor cu ulei puţin.* St. cerc. energ. electrotehn., *14*, 1964, nr. 1, p. 99—111.

[4] Adămuţ, I. şi Drăgan, G. *Cercetări privind stabilirea nivelului de izolaţie a barelor din staţiile şi posturile de transformare de tip interior.* St. cerc. energ., seria A, XII, nr. 2, 1962, p. 269—298.

[5] Drăgan, G., Popa, B. şi Adămuţ, I. *Cercetări experimentale privind determinarea tensiunilor de conturnare a lanţurilor de izolatoare IC.4.* — St. cerc. energ. XI, nr. 2, 1961, p. 354—375.

[6] Adămuţ, I. şi Petcu, M. *Rezultate privind măsurarea curenţilor de conducţie la izolatoare contaminate în condiţii naturale.* St. cerc. energ. electrotehn., *14*, 1964, nr. 3, p. 579—593.

[7] Adămuţ, I. şi Popa, B. *Protecţia liniilor de 110 kV împotriva supratensiunilor atmosferice (Consideraţii tehnice).* Energetica *10*, 1962, nr. 1,p. 22—30.

[8] Bürger, V. *Elektrische Wirkungen von Erdseilen, ihre Berechnung und Nachbildung im Modell.* Dissertation T. H., Zürich, Juris-Verlag, Zürich, 1964.

[9] Avramescu, A., Drăgan, G., Adămuţ, I. şi Petcu, M. *Studiul supratensiunilor ce apar la declanşarea liniilor în gol cu ajutorul calculatoarelor analogice.* St. cerc. energ. electrotehn., *14*, 1964, nr. 2, p. 319—336.

[10] Drăgan, G., Adămuţ, I. şi Petcu, M. *Analogue computer investigation into surges appearing on opening capacitive and inductive circuits.* CIGRE, 1966, Rap. 424.

[11] Antoniu, I. S. şi Adămuţ, I. *Contributions à la définition de la vitesse de propagation d'un signal sur les chaînes de quadripoles.* Rev. Roum. Sci. Techn., Série Electrotechn. Energ., *11*, 1966, nr. 3, p. 341—369.

[12] Adămuţ, I. *Consideraţii metodologice privind cercetarea pe calculatoare analogice a fenomenelor de propagare pe linii cu pierderi prin metoda lanţului de cvadripoli.* Electrotehnica *16*, 1968, nr. 11.

[13] Adămuţ, I. *Consideraţii asupra preciziei modelării analogice prin metoda diferenţelor finite a ecuaţiilor de propagare pe o linie electrică.* St. cerc. energ. electrotehn., *19*, 1969, nr. 1.

[14] Stafford, E. M., Evans, D. J. şi Hingorani, N. G. *Calculation of traveling waves on transmission systems by finite differences.* Proc. I.E.E., *112*, 1965, nr. 5, p. 941—948.

[15] Răduleţ, R., Timotin, A. şi Ţugulea, A. *O teorie generală a parametrilor lineici tranzitorii ai liniilor electrice lungi şi cu pierderi în prezenţa solului.* St. cerc. energ. electrotehn., *16*, 1966, nr. 3, p. 417—449.

[16] Timotin, A. şi Ţugulea, A. *Calculul parametrilor lineici tranzitorii ai unor linii electrice lungi şi utilizarea lor în studiul propagării undelor pe linii.* St. cerc. energ. electrotehn., 17, 1967, nr. 3.

[17] Wagner, C. F., McCann, G. D. *Wave propagation on transmission lines. Electrical transmission and distribution reference book.* Westinghouse, Pittsburgh, 1950.

[18] Popov, Vm., Tătaru, N. N. şi Băjenescu, T. N. *Calculatorul analogic neliniar MECAN-II.* St. cerc. energ. electrotehn., *13*, 1963, nr. 2, p. 291.

[19] Ameling, W. *Aufbau und Wirkungsweise elektronischer Analogrechner.* Vieweg Braunschweig, 1963.

[20] Courant, R. *Partial differential equations. Interscience publishers,* J. Wiley & Sons, New York, Londra, 1962.

(Articol intrat în redacţie la 15 iunie 1968)

Contor de supratensiuni în rețele de medie tensiune

Ing. **R. Goldenberg** și
ing. **Radu Nicolae***)

În vederea urmăririi funcționării rețelelor de medie tensiune, din punctul de vedere al apariției supratensiunilor interne (atît cele stabilizate cît și cele tranzitorii), se utilizează contoare capabile să înregistreze un număr mare de cazuri fără supraveghere permanentă. Articolul de față se ocupă cu descrierea contorului realizat de IRME, în execuție tranzistorizată. Pe lîngă problemele de proiectare și execuție ale aparatului sînt prezentate și rezultatele înregistrărilor obținute pe perioada de 1 an a două din contoarele realizate, montate în rețea.

La construirea contorului de supratensiuni s-au avut în vedere următoarele caracteristici electrice:

— două nivele de tensiuni înregistrate: nivelul 1 — supratensiuni mai mari ca $\sqrt{3}\ U_{f0}$;
— nivelul 2 — supratensiuni mai mari ca $3\ U_{f0}$, unde U_{f0} este tensiunea unei faze față de pămînt;

— durata unei supratensiuni trecătoare care trebuie înregistrată se apreciază la minimum de 2 ms;

— se pot număra supratensiuni consecutive, cu o pauză stabilită la 1 secundă (sau mai mare, cu o temporizare condiționată), atît de polaritate pozitivă, cît și de polaritate negativă;

— la o supratensiune de durată aparatul rămîne blocat și o astfel de supratensiune nu va fi numărată decît o singură dată;

— aparatul nu reacționează la fenomenele tranzitorii parazite, ca impulsurile provocate de scoaterea sau repunerea sub tensiune de alimentare a aparatului;

— alimentarea aparatului se face în curent alternativ (220 V) de la serviciile interne ale stației (se admit variații ale tensiunii de alimentare de +15%... −10% față de valoarea nominală);

— temperatura mediului ambiant, în care funcționează contorul, este de +10°C... +30°C;

— tensiunea de semnal este primită de la cele trei faze. Racordarea la rețeaua de medie tensiune se face prin divizoare capacitive sau capacitiv-rezistive;

— aparatul se poate monta pe panoul stației în montaj aparent. Aparatul este de tip închis și nu permite posibilitatea unei manevre sau reglaj din exterior decît prin demontarea capacului.

*) Ralian Goldenberg și Radu Nicolae sînt ingineri la IRME.

Proiectarea contorului pe nivele. În cazul aparatajului electronic de măsură și control din domeniul energeticii, montajele tranzistorizate își găsesc o aplicație din ce în ce mai largă. Motivele sînt binecunoscute, cele mai importante fiind timpul de funcționare a tranzistorilor, practic nelimitat, absența pierderii sensibilității și schimbarea etalonărilor din cauza modificării emisiei catozilor (în cazul tuburilor electronice), gabarite și puteri consumate mai mici.

Astfel, se observă că, în majoritatea cazurilor, contoarele de supratensiuni nou realizate sînt tranzistorizate [1]. Aparatele funcționează pe principiul ca fiecare etaj de numărare să aibă o schemă de multivibrator monostabil care basculează la aplicarea la intrarea lui a impulsurilor datorate supratensiunilor, impulsuri care, indiferent de polaritate (conectarea lor se face prin intermediul unei scheme în punte de redresare) sau de formă și durată (foarte variabile în funcție de natura supratensiunii), depășesc un nivel de amplitudine dat.

Monovibratorul odată basculat generează un impuls de formă, amplitudine și durată constante care acționează un etaj de execuție cu un numărător telefonic electromecanic. În modul acesta acționarea numărătorului este totdeauna sigură și în funcție numai de amplitudinea supratensiunii, durata supratensiunii sau forma fenomenului tranzitoriu neinfluențînd asupra certitudinii de funcționare a schemei.

Un aparat de acest tip realizat în R.S. Cehoslovacă este alimentat la baterii asigurînd o tensiune stabilizată de 7,5 V, ceea ce permite separarea completă a circuitului de măsură și numărătorului față de potențialul de pămînt în punctul de instalare a aparatului și față de rețeaua de alimentare de joasă tensiune. Se obține totodată o independență în funcționare a aparaturii față de oscilațiile rețelei și de avariile posibile ale rețelei de alimentare. O treaptă de măsurare conține cinci diode și patru tranzistori. Aparatul are o rezistență de intrare de minimum 100 kΩ pe fază, ceea ce permite conectarea lui și la divizoarele capacitive de măsură. Nivelul tensiunii de semnal necesar acționării este de circa 10 V. În timp de repaus o treaptă de numărare consumă 0,2 mA. La numărare consumul este de 150 mA, în decurs de 30 ms. Bateria asigură o funcționare neîntreruptă a aparatului pe timp de trei luni.

De remarcat că aceste aparate constituie, încă, o noutate și în alte țări și experimentarea lor de-abia a depășit faza de laborator.

Aparatul realizat de IRME are următoarele particularități:

— este tranzistorizat, deci fără uzură de timp;

— are etaje de numărare dotate cu circuite monostabile basculate pe criterii de amplitu-

dine a supratensiunii fără ca funcționarea lor să fie sensibilă la forma sau durata fenomenului tranzitoriu;

— se alimentează la rețea de 220 V.

S-a considerat că inițial contorul trebuie să aibă o schemă cît mai simplă, fără prea multe elemente de reglaj și corecții. Experimentarea prototipului pe o perioadă de cel puțin un an, prin conectarea neîntreruptă a aparatului în sistem, urma să dovedească dacă pentru îmbunătățirea performanțelor în măsurare sînt necesare modificări care ar complica schema.

La baza aparatului stă schema bloc indicată în figura 1.

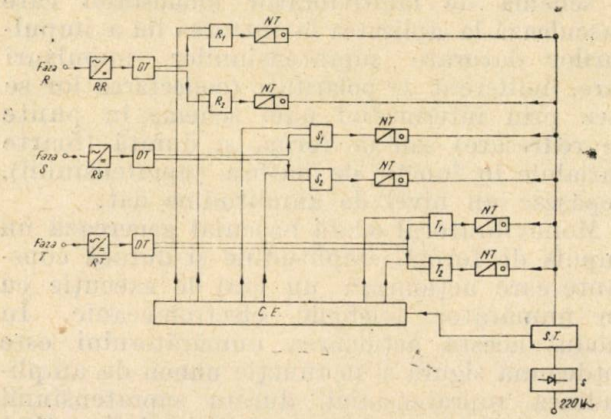


Fig. 1. Schema bloc a contorului de supratensiuni.

Tensiunile de semnal obținute prin divizoare capacitive sau rezistive sînt aplicate unor punți de redresare ($RR-RS-RT$) la ieșirea cărora se obține tensiune negativă, în raport cu masa, și de aceeași valoare, indiferent de polaritatea tensiunii de semnal.

Tensiunea redresată este dată unui divizor rezistiv care transmite la ieșire două tensiuni continue avînd valorile în raportul $1/\sqrt{3}$ (prima ieșire este destinată excitării treptei 1 de numărare care declanșează la apariția unei tensiuni $U_1 \geqslant \sqrt{3}\ U_{f0}$, și, respectiv, a doua ieșire comandă treapta a doua care basculează pentru tensiuni $U_2 \geqslant 3\ U_{f0}$).

Divizoarele de tensiune DT sînt identice și în număr de trei (cîte un divizor pentru fiecare fază).

După cum se vede din schema bloc, ieșirile DT sînt conectate la intrarea treptelor de numărare pe faze: nivelul 1 (R_1; S_1; T_1) și, respectiv, nivelul 2 (R_2; S_2; T_2).

Fiecare treaptă de numărare acționează la ieșire un numărător telefonic (NT) a cărui indicație (obținută prin efectuarea scăderii indexului vechi din indexul nou pe o perioadă de timp dată) arată exact numărul de supratensiuni la nivelul și faza respectivă.

Pentru verificarea corectitudinii de funcționare a aparatului este folosit un circuit de etalonare (CE). Acesta furnizează un impuls standard de amplitudine și durată constante, care, aplicat la intrarea fiecărei trepte de numărare, produce modificarea indexului numărătorului telefonic cu o unitate, deci verifică în ce măsură treapta respectivă lucrează corect.

Aparatul este alimentat de la rețeaua de 220 V, curent alternativ, prin intermediul alimentatorului A și al stabilizatorului de tensiune ST care furnizează tensiuni continue de valoare constantă, indiferent de variațiile tensiunii de rețea, în limitele $+15\%\ldots -10\%$).

Principalele blocuri ale schemei contorului de supratensiuni pe două nivele sînt:

1. Treapta de numărare, [2], [3] și [4], formată dintr-un monostabil (trigger nesimetric cu cuplaj pe emiter) avînd la ieșire un etaj de execuție cu numărător telefonic (figura 2), are:

— perioada minimă de succesiune a impulsurilor $T = 1$ s;

— durata minimă a impulsului de comandă $t_c = 2$ ms;

— durata minimă a impulsului dat de trigger ($t_t = 100$ ms);

— temperatura de lucru a tranzistorilor $+10°C\ldots+30°C$.

S-au ales tranzistori cu germaniu de joasă frecvență, cu un factor de amplificare în curent bun (EFT 323 sau EFT 353). Se impune o tensiune de alimentare $EK_1 = 9-10$ V (ușor de stabilizat cu diodele Zenner).

Regimul de funcționare a schemei este următorul: în poziție de repaus tranzistorul T_1 nu conduce, T_2 conduce, etajul de execuție T_3 este blocat, avînd o tensiune pe bază foarte apropiată de cea a emitorului; la aplicarea

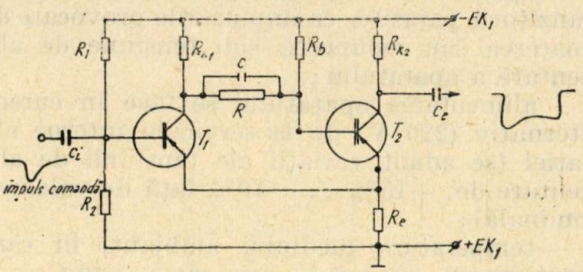


Fig. 2. Schema de principiu a unui trigger nesimetric cu cuplaj pe emitor.

unui impuls de comandă negativ pe baza tranzistorului T_1 — impuls obținut prin redresarea supratensiunii tranzitorii — montajul basculează trecînd în stare labilă: T_1 conduce, T_2 este blocat și T_3 conduce pe durata impulsului dat de trigger (t_t). După o temporizare cu durata $\tau = RC$ triggerul revine în starea inițială.

Singurul dezavantaj al schemei cu tranzistori cu germaniu este legat de dependența de temperatură a parametrilor.

Variaţia citată (deriva cu temperatura) este inerentă şi atrage după sine o imprecizie a etalonării de 10—15% (de acelaşi ordin de mărime ca şi cel al schemelor cu tiratroane).

Se impune un regim de funcţionare economic, respectiv un curent mic pentru tranzistorul care conduce în situaţie de repaus ($I_{K2} = 5$ m A).

Pentru o tensiune pe emiter $U_{e\,max} = 1{,}5$V şi un salt maxim de tensiune pe colector $U_m = 7$ V rezultă :

$$R_{K2} = \frac{U_m}{i_{K2}} = \frac{7}{5 \cdot 10^{-3}} = 1{,}4\ \text{k}\Omega$$ — la reglaje s-a luat $R_{K2} = 1{,}5$ kΩ;

$$R_e = \frac{U_e}{i_{K2}} = \frac{1{,}5}{5 \cdot 10^{-3}} = 300\ \Omega$$ — la reglaje s-a luat $R_e = 200\ \Omega$.

Se recomandă $R_{K1} = 3\ R_{K2} = 3 \cdot 1{,}4 \cdot 10^3 = 4{,}2$ kΩ— s-a ales $R_{K1} = 4$ kΩ.

Curentul în gol al colectorului $I_{K0\,max} = 20\mu$A, pentru care

$$R_b \leqslant \frac{R_e E_K}{(R_e + R_{K1}) I_{K0\,max}} = \frac{300 \times 9}{(300+1400)20 \cdot 10^{-6}} = 80\ \text{k}\Omega,$$

luîndu-se la reglaj $R_b = 20$ kΩ.

Rezistenţa de cuplaj se deduce din formula :

$$R \leqslant \frac{\beta R_b \cdot R_{K2}}{\beta R_e + R_b} = \frac{60 \times 80 \times 10^3 \times 4{,}2 \cdot 10^3}{60 \times 300 \times 80 \times 10^3} = 244\ \text{k}\Omega.$$

Se alege $R = 250$ kΩ.

Condensatorul de cuplaj este ales punînd condiţia ca temporizarea între două basculări consecutive ale schemei $T_{min} = 1$ s, de unde;

$$C \leqslant \frac{T_{min}}{(2 \div 3) R_b} = \frac{1}{(2 \div 3)\ R_b} = \frac{1}{(2 \div 3) 20 \times 10^3} \simeq 16\ \mu\text{F}.$$

Condiţia ca în stare de repaus tranzistorul T_1 să fie blocat şi T_2 să conducă se obţine alegînd în mod convenabil polarizarea bazei primului tranzistor T_1. Experimental s-a obţinut o funcţionare sigură pentru

$$R_1 = 100\ \text{k}\Omega; \quad R_2 = 5{,}6\ \text{k}\Omega.$$

La reglajul schemei s-a luat valoarea $C = 5\ \mu$F care dă o temporizare între două comenzi de circa 1 s.

Etajul final de execuţie cu numărător telefonic este redat în figura 3. NT este numărător telefonic cu 4 cifre tip „Electromagnetica", rezistenţa bobinei în curent continuu are valoarea (330—350) Ω (circa 7250 spire de Ø 0,12).

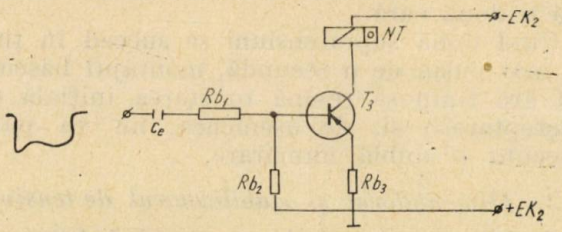


Fig. 3. Schema de principiu a etajului final de execuţie cu numărător telefonic.

Pentru acţionarea numărătorului este necesară o tensiune de minimum 14 V, la un curent de circa 30 mA. Tensiunea este furnizată de un redresor aparte.

În majoritatea schemelor ultimul etaj este blocat prin aplicarea unei tensiuni pozitive pe bază (în cazul tranzistorilor p—n—p). Cum aceasta ar fi necesitat folosirea unei a treia surse stabilizate de tensiune, s-a ales o metodă de blocare a ultimului tranzistor folosind un divizor de intrare $R_{b1} - R_{b2}$ şi o rezistenţă în emitor care împiedică deschiderea tranzistorului în lipsa semnalului.

Prin reglaje experimentale s-a obţinut $C_e = 5\ \mu$F; $R_{b1} = R_{be} = 12{,}5$ kΩ. În funcţie de tranzistor, $R_{e3} = 75\ \Omega$ sau $100\ \Omega$.

În figura 4 este dată schema reală a treptei de numărare pentru o alimentare la —14 V (trigger) şi —22 V (etaj final).

Pentru bascularea treptei este necesar un semnal de impuls cu amplitudinea de —2,8 V vîrf.

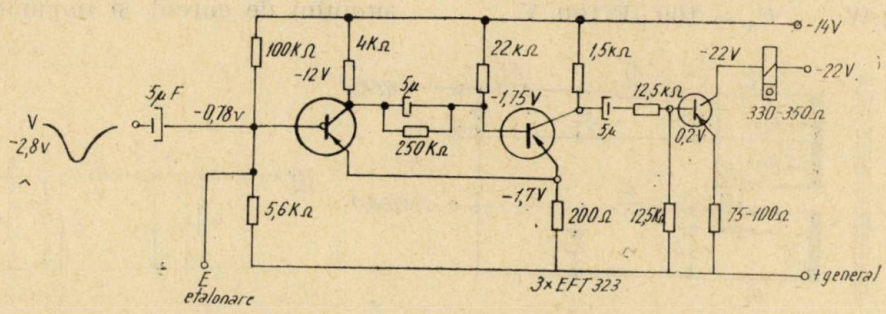


Fig. 4. Schema treptei de numărare şi tensiunile în stare de repaus.

De menţionat că schema satisface şi condiţia impusă ca să nu acţioneze la două supratensiuni ce se succed la un interval mai scurt de o secundă şi să nu înregistreze de mai multe ori atunci cînd supratensiunea (datorită uneori şi punerii la pămînt a unei faze) este prezentă la intrare pe o durată de timp mai mare (uneori chiar minute sau zeci de minute).

Într-adevăr, dacă la intrarea unei trepte semnalul de −2,8 V, sau mai mare, se permanentizează, tranzistorul T_1 conduce tot timpul, de asemenea şi T_3, bobina numărătorului rămîne atrasă şi numărătorul nu poate înregistra a doua oară.

Cînd două supratensiuni se succed în timp la mai puţin de o secundă, montajul basculat nu are timp să revină în starea iniţială (de „aşteptare") şi, de asemenea, nu va putea executa o dublă numărare.

2. *Alimentatorul şi stabilizatorul de tensiune.*

Stabilizatorul trebuie să menţină tensiunile stabilizate cînd:

a) tensiunea de reţea variază în limitele 200 V (−10%)...250 V (+15%);

b) consumul treptelor de numărare variază între 2 mA (curentul în gol al celor şase trepte necomandate) şi 90 mA (consumat în sarcină de patru trepte de numărare declanşate simultan).

Pentru stabilizare au fost folosite diode Zenner „Intermetal" cu următoarele caracteristici:

$ZL\,12$; $U = 11...\ 13{,}5$ V; $I_z = 86$ mA în aer şi 620 mA (cu radiator); $ZL\ 22$; $U = 20...\ 24$ V; $I_z = 47$ mA în aer şi 340 mA (cu radiator).

Redresorul destinat alimentării triggerelor şi a generatorului de etalonare este de tip dublă alternanţă (pentru micşorarea pulsaţiilor).

Redresorul etajelor de execuţie este de tip monoalternanţă.

Schema alimentatorului şi a stabilizatorului este dată în figura 5, unde:

D_1, D_2, D_3, D_4 sînt diode cu siliciu DR 303; Z_1—ZL 12, diodă cu radiator; Z_2—ZL 22, diodă cu radiator;

R_1 — 200 Ω 2 W C_1 — 50μF/100 V

R_2 — 200 Ω 2 W C_2—200 μF/25 V

R_3 — 390 Ω 2 W C_3 — 100 μF/100 V

Prin ecranarea transformatorului şi deparazitarea intrării cu două condensatoare de 20 000 pF s-au eliminat înregistrările false datorate conectării sau deconectării aparatului la reţea.

Tensiunile stabilizate rămîn constante (fluctuaţii sub 1V) pentru o variaţie a tensiunii de reţea cuprinsă între 160 V şi 250 V, adică superioară fluctuaţiilor de tensiune admise.

3. *Calculul circuitului de etalonare.*

Fiind impusă condiţia ca aparatul să poată sesiza supratensiuni cu o durată de minimum 2 ms, s-a preconizat un generator de impuls simplu (cu circuit de descărcare RC) cu o durată de 2 ms (front anterior $t_1 = 0{,}5$ ms; front posterior $t_2 = 1{,}5$ ms).

Schema generatorului este dată în figura 6.

Dimensionarea elementelor de circuit (schemă de tip generator Marx):

$t_1 = R_3C_1$; $t_2 = \rho\,(C_1+C_2)$, unde ρ este rezistenţa de intrare a unei trepte; $\rho = R_2//h_{11}$, unde $R_2 = 5{,}6$ kΩ şi h_{11} este impedanţa de intrare a lui T_1; pentru EFT 323, h_{11} e = (1,4...5) kΩ, în raport cu punctul de funcţionare.

Impedanţa normalizată de intrare a tranzistorului EFT 323 este: $h_{11_0} = 2{,}3$ kΩ, la 1 kHz, pentru $I_c^n = 1$ mA şi $U_{ce}^n = -6$ V; $U_{CE} = (12{,}5 - 1{,}7)$ V $\simeq 11$ V în schemă; din curbele de normalizare se deduce

$$K_1 = 1{,}1 \quad (7)$$

$$I_c = \frac{12{,}5-11}{4} = 0{,}5 \text{ mA în schemă; se deduce } K_2 = 1{,}6 \quad (4)$$

$$h_{11} = h_{11}\ e \cdot K_1 \cdot K_2 = 1{,}1 \cdot 1{,}6 \cdot 2{,}3 \simeq 4 \text{ kΩ};$$

$$\rho = \frac{R_2 \cdot h_{11}}{R_2 + h_{11}} = \frac{5{,}6 \cdot 4}{5{,}6+4} = 2{,}3 \text{ kΩ};$$

$$C_1 + C_2 = \frac{t_2}{\rho} = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-3}}{2{,}3 \cdot 10^{3}} = 0{,}6^{10-6};$$

alegînd $C_1 = C_2$ se obţine:

$$C_1 = C_2 = 0{,}3\ \mu\text{F},$$

$$R_3 = \frac{t_1}{C_1} = \frac{0{,}5 \cdot 10^{-3}}{0{,}3 \cdot 10^{-6}} = 1{,}7 \text{ kΩ}.$$

Alegînd $R_2 = 10$ kΩ, pentru limitarea consumului de curent şi impunînd o tensiune de

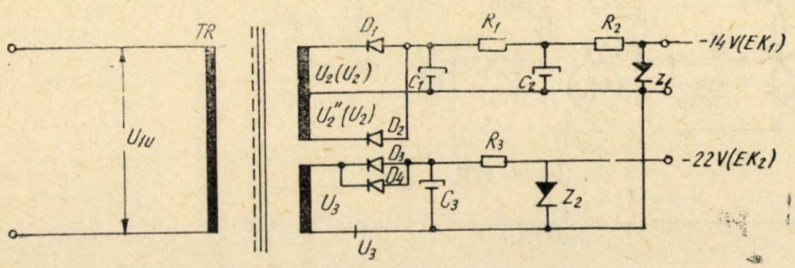


Fig. 5. Schema alimentatorului şi stabilizatorului de tensiune.

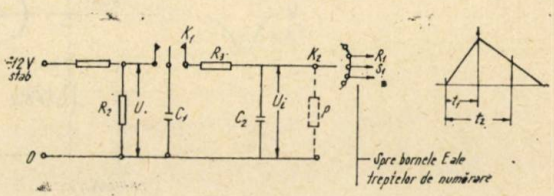


Fig. 6. Schema circuitului de etalonare.

impuls U_i, suficientă pentru deschiderea sigură a treptelor de numărare, R_1 rezultă din dimensionarea divizorului rezistiv R_1-R_2 pentru a obține o tensiune U = circa 6 V.

Experimental s-a reglat $R_1 = 7{,}5$ kΩ.

Valorile schemei sînt:

$R_1 = 7{,}5$ kΩ 0,5W $C_1 = C_2 = 0{,}25\mu$F
$R_2 = 10$ kΩ 0,5W K_1 este un buton cu
$R_3 = 1{,}5$ kΩ 0,5 W 1 NI+1ND

K_2 este comutatorul intrărilor de etalonare ale treptelor.

4. *Calculul circuitelor de intrare (R și DT).*

Circuitul de intrare redresează semnalul astfel încît, indiferent de polaritatea supratensiunii inițiale la ieșire, divizorul de tensiune să primească o tensiune redresată cu polaritate negativă necesară basculării treptelor de numărare. Fiind vorba de tensiuni de intrare mici, s-a ales o schemă în punte cu diode de germaniu de tip EFD 106, cu o tensiune inversă de maximum 25 V. Rezistența inversă a diodelor avînd valori cuprinse între (0,5.... 2) MΩ, este satisfăcută condiția impusă în temă ca impedanța de intrare a contorului să fie mare pentru a permite conectarea aparatului și la divizoarele capacitive de tensiune.

Schema completă a redresorului de intrare și a divizorului de tensiune pentru o fază este dată în figura 7.

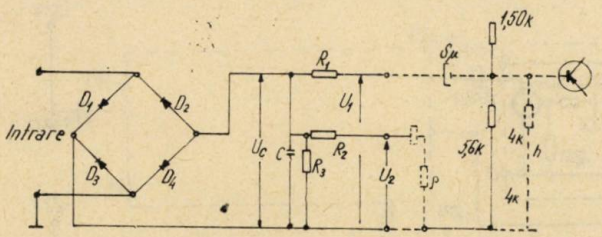


Fig. 7. Schema circuitului de intrare pentru o fază.

Condensatorul de filtraj se dimensionează astfel ca $\tau = r.C$ constanta de încărcare a lui să fie mai mică ca 0,5 ms (durata frontului supratensiunii); $\tau = rC \ll 0{,}5$ ms, unde $r = 2\ r_0$, r_0 fiind rezistența directă a unei diode EFD 106; pentru $r_0 = 500\ \Omega$, $r = 1000\ \Omega$, și rezultă

$$C \ll \frac{\tau}{r} = \frac{0{,}5\times10^{-3}}{10^3} = 0{,}5\times10^{-6} = 0{,}5\mu\text{F}.$$

S-a ales, ca valoare, $C = 50\,000$ pF, dînd o constantă de timp = 50 μs suficientă pentru o încărcare rapidă a condensatorului.

În paralel cu C se montează rezistența R_3 care asigură o descărcare suficient de rapidă a condensatorului. S-a ales $R_3 = 47$ kΩ, obținîndu-se o constantă de descărcare $\tau_d = R_3 C = 47\times10^3\times50\times10^{-9} = 2500\times10^{-6}$ s = 2,5 ms.

Rezistențele R_1 și R_2, care formează două divizoare de tensiune:

$$\frac{\rho}{R_1+\rho} \text{ și respectiv } \frac{\rho}{R_2+\rho}, \text{ unde}$$

$\rho = 2{,}3$ kΩ (impedanța de intrare a unei trepte de numărare), se dimensionează în funcție de raportul treptelor de numărare, și anume:

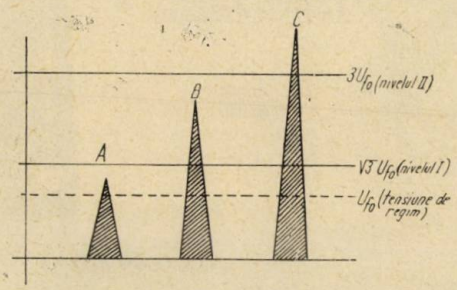


Fig. 8. Diagrama tensiunilor și a nivelelor de numărare:
A – supratensiune care nu declanșează nivelul I; *B* – supratensiune care declanșează nivelul I; *C* – supratensiune care declanșează nivelul II.

$$U_1 = U_c\cdot\frac{\rho}{R_1+\rho};$$

$$U_2 = U_c\cdot\frac{\rho}{R_2+\rho}$$

$U_{R2} = \dfrac{U_{R1}}{\sqrt{3}}$ sau $\dfrac{U_{R1}}{U_{R2}} = \sqrt{3}$, de unde se deduce

$$\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{3}.$$

Experimental s-a obținut $R_1 = 18$ kΩ și $R_2 = 33$ kΩ.

În acest caz tensiunea de semnal necesară funcționării aparatului pe fiecare fază este $U_{f0} = 1{,}53\ V_{ef}$.

În cazul conectării aparatului la transformatoarele de măsură pe faze de $100/\sqrt{3}$ este necesară intercalarea unui divizor de tensiune suplimentar de 33 kΩ/1 kΩ.

La etalonarea cu generatorul de impuls propriu a aparatului, circuitele de intrare se deconectează pentru evitarea cuplajelor parazite între treptele unor faze diferite.

Realizarea constructivă a aparatului. Aparatul a fost realizat sub formă de „moduli asamblați". Astfel, cele șase trepte de numărare sînt identice, fiind montate pe plăci din pertinax, cu dimensiunile 110×75 mm.

Redresorul este amplasat pe o placă aflată în partea dreaptă a aparatului. În stînga jos sînt montate pe o placă cele trei circuite de intrare și generatorul de impuls pentru circuitele de etalonare; sus se pot vedea radiatoarele diodelor Zenner.

După cum se vede din figurile 9 și 10, toate reglajele și comutările sînt interioare, astfel că la punerea capacului nu se mai poate umbla la aparat. Un vizor asigură citirea indexurilor la contoare și un ochi de pisică lasă să se vadă

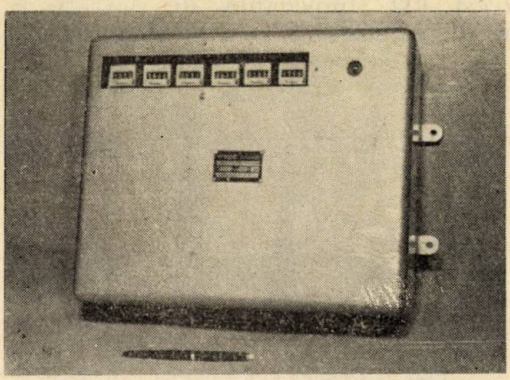


Fig. 9. Vederea exterioară a contorului de supratensiuni pe trei faze și două nivele.

becul de semnalizare a tensiunii de alimentare de la rețea.

Dimensiunile aparatului în cutie sînt : 330 × ×270×120 mm. Greutatea este de circa 5 kg. Consumul de la rețeaua de 220 V—50 Hz, circa 40 VA.

Aparatul posedă patru urechi de prindere, pentru fixarea aparentă pe panou. Intrările celor trei tensiuni de semnal sînt practicate în partea de jos a aparatului, prin mufe de tip coaxial.

Experimentarea în sistem. Contorul descris a fost realizat în două exemplare. Primul

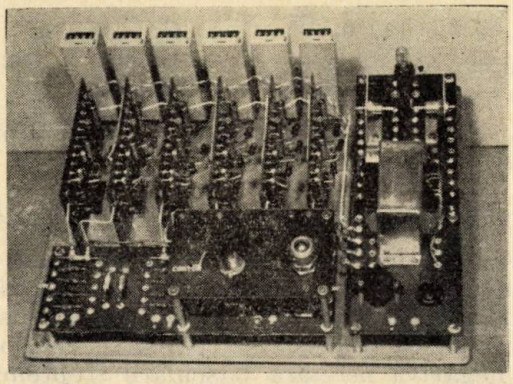


Fig. 10. Vedere interioară a contorului de supratensiuni pe trei faze și două nivele.

aparat este montat în stația de 15 kV Tîncăbești (IREB), iar al doilea în stația de 35 kV Palas-Sud (inițial la stația de 35 kV Medgidia).

Aparatele s-au conectat la înfășurarea secundară a transformatoarelor din stație, la o tensiune între faze și pămînt de $100/\sqrt{3}$, prin intermediul unor divizoare rezistive.

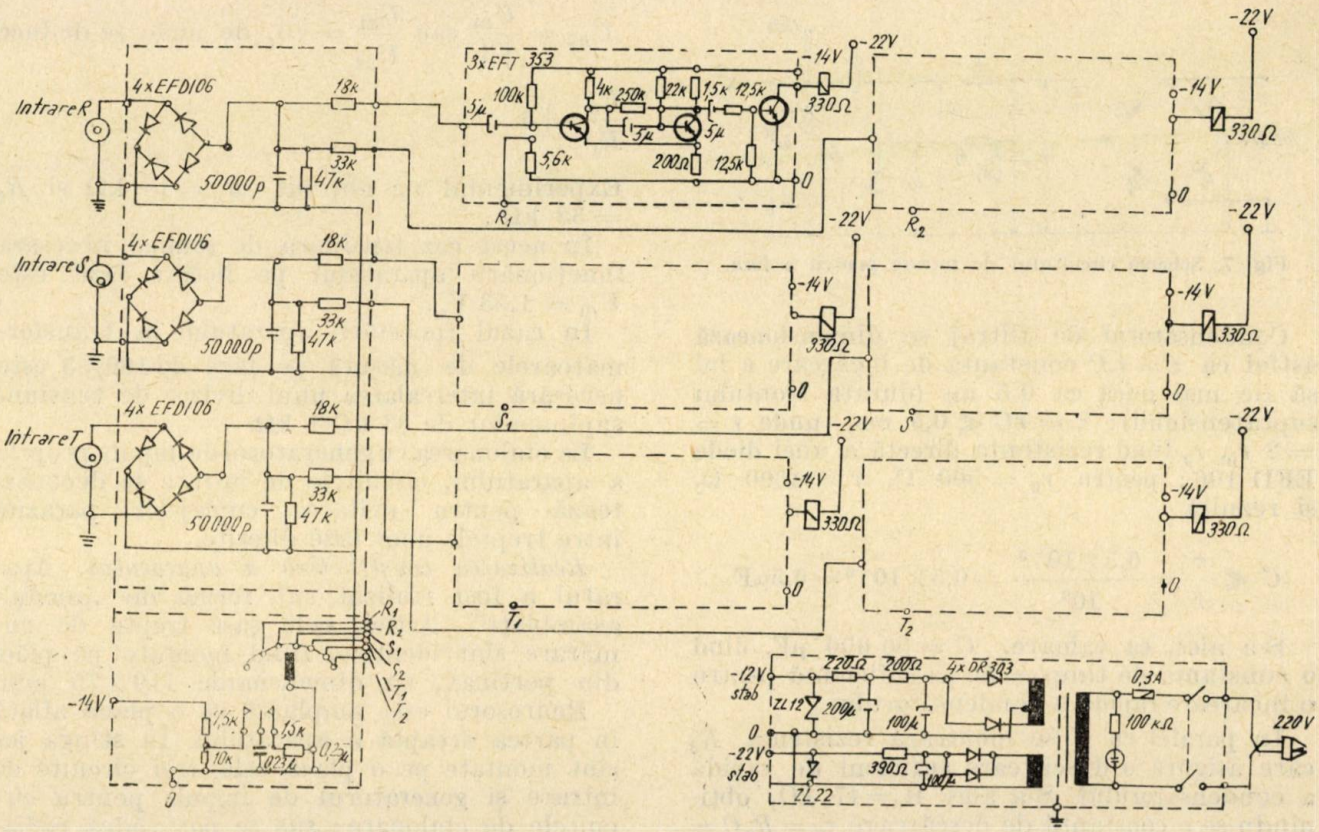


Fig. 11. Schema de principiu a contorului pe două nivele și trei faze pentru rețelele de medie tensiune compensate.

Comportarea contoarelor este urmărită zilnic de personalul stației. Înregistrările obținute pe o perioadă de 1 an de zile de funcționare neîntreruptă au dus la următoarele valori:

Contorul de supratensiuni din stația Tîncăbești

Faza *R* { Nivel 1—56 înregistrări
Nivel 2—19 „

Faza *S* { Nivel 1—70 „
Nivel 2—27 „

Faza *T* { Nivel 1—80 „
Nivel 2—25 „

Contorul de supratensiuni din stația Medgidia

Faza *R* { Nivel 1—31 înregistrări
Nivel 2—8 „

Faza *S* { Nivel 1—60 „
Nivel 2—20 „

Faza *T* { Nivel 1—50 „
Nivel 2—28 „

În înregistrările pe nivelul 1 sînt incluse și înregistrările nivelului 2, deoarece o supratensiune ce depășește în amplitudine valoarea 3 *U* nominal declanșează ambele trepte de numărare.

Bibliografie

[1] Raport RSCS, Secția a 4-a, Tema E—U/2, punctul 5. *Determinarea caracteristicilor statistice ale supratensiunilor prin înregistrarea lor automată în condițiile de exploatare a rețelelor de tensiune de 110 kV și mai mult.*

[2] Doronkin, E. F. și Voskresenski, V. V. *Generatoare de impulsuri cu tranzistoare.* Ed. Sviazi, Moscova, 1965.

[3] *Circuite cu tranzistoare în industrie.* Editura Tehnică, București, 1964.

[4] * * * *Catalog de diode și tranzistoare.* IPRS, 1965.

(Articol intrat în redacție la 9 august 1968)

—— o ——

TRATAREA APEI ÎN CENTRALELE TERMOELECTRICE

Indicii de calitate ai apei de răcire

Ing. C. Șușman *)

În timp ce tehnica tratării apei de alimentare a cazanelor de abur a atins la ora actuală un nivel foarte ridicat, reglementată prin prescripții care garantează o exploatare pe timp îndelungat a agregatelor termice fără pericolul avarierii, pentru domeniul tratării apei de răcire nu se poate spune același lucru.

Problemele ridicate de folosirea apei de răcire sînt deosebit de complexe, datorită influențelor și acțiunii comune a diferiților factori.

Dezvoltarea vertiginoasă a industriei a creat necesitatea construirii a tot mai multe instalații de răcire. Creșterea consumatorilor de apă obligă beneficiarii să o folosească cît mai rațional înainte de a o evacua. Astfel, instalațiile cu recirculare iau locul celor cu circuite deschise. Înrăutățirea calității apelor brute acționează asupra condițiilor de evacuare a apelor uzate și asupra găsirii de noi procedee de tratare a acestora.

Rezolvarea problemei este îngreuiată de:

— variația temperaturii, a presiunii de lucru și a vitezei de circulație pe traseul circuitului;

— diversitatea materialelor de construcție a schimbătoarelor de căldură;

— diversitatea caracteristicilor circuitelor care trebuie alimentate cu aceeași apă.

Pentru o exploatare eficientă a instalațiilor din circuitele de răcire a apărut necesitatea rezolvării problemelor ridicate de apa de răcire din aceste circuite. Această preocupare se finalizează prin stabilirea unor indici optimi și a unei metodologii unitare de proiectare, exploatare și control a instalațiilor și a circuitelor cu apă de răcire, cuprinse în prescripții oficiale ca instrucțiuni tehnice.

În felul acesta, ISCIR acoperă prin prescripții tehnice un nou sector din activitatea industrială. De menționat că în acest sector, datorită regimului necorespunzător al apei de răcire, s-au semnalat numeroase și grave cazuri de deteriorare și scoateri din funcțiune a utilajelor din circuitele de răcire.

*) Șușman Cornel este inginer la I.S.C.I.R.

1. Terminologie, definiții. Termenii tehnici folosiți în instrucțiunile elaborate corespund definițiilor indicate în continuare.

1. *Circuit* este traseul străbătut de apa de răcire, care poate fi deschis, închis și mixt; elementele care trebuie avute în vedere în mod deosebit la stabilirea indicilor unui circuit sînt: presiunea, temperatura și viteza apei, care variază pe traseul circuitului de răcire, precum și materialele din care sînt construite schimbătoarele de căldură;

— *circuit deschis*, în care apa parcurge o singură dată traseul, utilizat atunci cînd este necesară o cantitate mică de apă sau cînd există o sursă de apă brută în cantitate mare (rîuri, lacuri);

— *circuit închis*, în care apa este recirculată cu pierderi mici, utilizată în cazurile în care schimbătoarele de căldură lucrează în condiții deosebit de grele (temperatură, presiune, viteză) sau sînt executate din materiale care necesită o apă de înaltă puritate;

— *circuit mixt*, în care se combină în diverse proporții circuitele menționate mai sus și este utilizat în cazul în care rezerva de apă brută este limitată; în acest sistem, o anumită cantitate de apă se află permanent în circulare, menținerea temperaturii realizîndu-se prin răcirea apei în turnuri, iar echilibrul chimic prin regimul de purjare și completare cu apă de adaos.

2. *Apa brută* este apa naturală care se utilizează ca agent de răcire în circuitul deschis, pentru pregătirea apei de adaos la circuitele mixte și a apei tratate pentru circuitele închise.

3. *Apa de răcire* este agentul de răcire vehiculat prin schimbătoarele de căldură din circuite.

4. *Apa de adaos* este apa cu care sînt completate pierderile din circuitele de răcire, mixte și închise, în scopul menținerii constante a volumului recirculat și a caracteristicilor fizico-chimice ale apei recirculate; în general aceasta este o apă tratată.

5. *Pierderile* reprezintă scăderea volumului de apă din circuitele de răcire mixte sau închise, datorită evaporării în turnurile de răcire, antrenării de picături la turnurile de răcire, ca efect al tirajului sau al vîntului, purjării, impuse de menținerea echilibrului fizico-chimic.

6. *Tratarea apei* de adaos sau a apei din circuitele deschise este totalitatea operațiunilor fizico-chimice, în scopul realizării indicilor.

7. *Condiționarea apei* din circuitele închise sau mixte de răcire este totalitatea operațiunilor fizico-chimice, în scopul evitării depunerilor, coroziunilor și dezvoltării organismelor.

8. *Depunerile* sînt rezultatul unui regim necorespunzător al apei de răcire, caracterizat prin sedimentarea materialelor în suspensie sau a sărurilor din apa din circuit.

9. *Coroziunile* sînt rezultatul unui regim necorespunzător al apei de răcire, datorat acţiunii substanţelor agresive conţinute în apă sau rezultate din dezvoltarea organismelor, produse la suprafaţa metalelor folosite în construcţia schimbătoarelor de căldură.

10. *Organismele* sînt constituite din bacterii, ciuperci sau alge, care există sau se dezvoltă într-un circuit de răcire.

2. Efectele componentelor apei asupra circuitelor de răcire. Componentele apei brute naturale, ca: sărurile de calciu, magneziu, silice, organismele etc., pot provoca o serie de neajunsuri circuitelor de răcire, în cazul în care depăşesc anumite valori. Principalele neajunsuri sînt:

1. *Depunerile.* Sărurile existente în apa brută precipită cînd solubilitatea lor maximă este depăşită. Sărurile de calciu şi magneziu fiind cel mai puţin solubile se depun sub formă de cruste. Crustele formate din silice şi alumină cu diferiţi cationi sînt deosebit de rezistente.

Datorită conductivităţii termice mici, depunerile înrăutăţesc transferul de căldură, scăzînd randamentul schimbului termic.

2. *Coroziunile.* Apa atacă metalele uzual folosite, corodîndu-le. În circuitele de răcire, coroziunea poate fi provocată de:

— concentraţia mare a oxigenului dizolvat;

— prezenţa în apă a unor gaze corosive ca SO_2, NH_3, H_2S, provenite din zona industrială;

— concentraţia mare a sărurilor dizolvate (în special cloruri şi sulfaţi);

— prezenţa în circuit a diverselor metale componente ale circuitului care provoacă formarea curenţilor galvanici;

— formarea de celule de concentraţie de oxigen derivat din depozitele de fibre provenite din turnurile de răcire.

3. *Acţiunea organismelor.* Organismele (bacterii, ciuperci, alge etc.), existente în apa brută, se dezvoltă în anumite condiţii de temperatură şi de compoziţie chimică a apei, de-a lungul circuitului de răcire:

— Anumite bacterii aerobe, ca Crenotrix şi Leptotrix, se hrănesc cu fier, favorizînd coroziunea. Bacteriile anaerobe sulfatoreducătoare sînt, de asemenea, producătoare de coroziune, prin reducerea sulfaţilor la sulfuri sau chiar la sulf, cu punere în libertate de oxigen;

— Ciuperci ca asmoyoetele şi basidiomicetele atacă şi distrug lemnul de construcţie al turnurilor de răcire;

— Algele din diferite familii au condiţii favorabile pentru dezvoltarea în turnurile de răcire. Prin antrenare în circuitul de răcire, ele se depun pe schimbătoarele de căldură şi în conducte, reducînd secţiunea acestora.

3. Tratarea şi condiţionarea apei din circuitele de răcire. Alegerea metodelor de condiţionare depinde de următorii factori:

— calitatea apei brute de care se dispune;

— debitul de apă disponibil;

— caracteristicile utilajelor supuse răcirii şi în special natura metalelor şi temperaturile pereţilor în contact cu apa;

— specificul poluării apei în circuit prin aerul din vecinătatea turnului de răcire.

Cel mai important indice al apei brute, care condiţionează formarea depunerilor, este duritatea temporară (d_{tp}). În funcţie de aceasta, pentru tratarea apei, se utilizează, în general, următoarele procedee:

1. La duritate temporară mai mică decît 3°d: injecţie cu fosfaţi condensaţi (polifosfaţi) menţinînd în circuit o concentraţie de maximum 12°d. Fosfaţii superiori reduc precipitarea carbonaţilor prin complexare. Aceste produse hidrolizează formînd ortofosfaţii care precipită (în special la temperaturi peste 70°C). Procedeul este indicat în circuite deschise sau cu concentraţie redusă, dacă nu depăşeşte 60—65°C.

2. La duritate temporară mai mică decît 6°d: injecţie de acid, de preferinţă HCl (pînă la circa $0{,}5d_{tp}$) şi în final injecţie de fosfaţi polimeri pînă la concentrarea în circuit de maximum 12°d duritate carbonatică.

3. La duritate temporară mai mare decît 6°d:

a) decarbonatare cu var, urmată de o tratare H—Na pînă la o concentrare în circuit 7...8°d (duritatea temporară nu va urca peste 8°d). Procedeul de tratare cu var necesită instalaţii ancombrante, motiv pentru care este indicat în cazul circuitelor de răcire cu debite mari sau cînd apa brută conţine suspensii multe;

b) decarbonatare cu var, duritatea carbonatică reziduală se aduce cu injecţie de acid pînă la 0,5°d. Se continuă apoi cu injecţie cu fosfaţi condensaţi pînă la obţinerea concentraţiei în circuit de maximum 12° duritate carbonatică;

c) decarbonatare cu var, duritatea reziduală carbonatică şi duritatea permanentă sînt apoi îndepărtate prin filtrare Na cationică;

d) decarbonatare cu cationiţi în ciclu de hidrogen (de preferinţă carboxilici).

4. Dacă duritatea permanentă este mare şi duritatea carbonatică redusă, se utilizează o dedurizare Na-cationică, urmată de tratare cu acid pentru distrugerea bicarbonaţilor de sodiu.

Împotriva organismelor se acţionează cu ajutorul agenţilor sterilizatori; cea mai frecventă metodă este clorinarea apei (cu clor sau hipocloriţi). Clorinarea poate fi făcută constant şi continuu, sau prin şocuri (pentru evitarea imunizării microorganismelor faţă de acţiunea clorului).

Apa de răcire trebuie să fie lipsită de ulei, hidrogen sulfurat (sulfuri), combinaţii de fier, de mangan şi humaţi.

Pentru prevenirea şi limitarea dezvoltării fenomenelor de coroziune se pot aplica următoarele procedee:

— Formarea unui strat protector subţire şi unitar de carbonat de calciu; acesta, acţionînd ca o barieră fizică, împiedică contactul între apă şi suprafaţa metalică, analog unui inhibitor catodic. Menţinerea unui astfel de strat se realizează prin acţionarea asupra *p*H, alcalinităţii sau asupra conţinutului de calciu;

— Adaosul de inhibitori de coroziune. În circuitele cu recirculare, pentru limitarea coroziunilor se efectuează în mod normal un adaos de reactivi chimici, cu funcţiune inhibitoare anodică. Compuşii avînd astfel de caracteristici sînt: polifosfaţi şi bicromaţi asociaţi cu borax, cromaţi, azotiţi, silicaţi, amine şi alţi diverşi agenţi organici.

Cel mai des folosiţi sînt polifosfaţii şi cromaţii. Cromaţii, totuşi, deşi au o eficienţă superioară, prezintă inconvenientul că conferă apei caracteristici oxidante (în cazul unei dozări necorespunzătoare) care întrerup filmul protector dînd naştere la coroziuni grave.

— Dezaerarea mecanică reduce conţinutul de gaze dizolvate, însă, din cauza costului ridicat, nu se poate aplica decît la instalaţii mici.

4. Indicii de calitate. Indicii de calitate ai apei de răcire se stabilesc de către proiectantul de specialitate al instalaţiei; valorile medii optime sînt date în tabela 1.

Tabela 1

Nr. crt.	Indice	Simbol	U. M.	Valori pentru circuite		
				închise	deschise	mixte
1	duritate temporară, max.	d_{tp}	°d	0,01	—	6
2	sulfaţi, max.	SO_4	*ppm*	1	—	500
3	cloruri, max.	Cl	*ppm*	1	—	400
4	*p*H, min.	*p*H	—	8,3	—	—
5	conductivitate, max.	γ	μS/cm	5 (corectată pt. volatile)		
6	reziduu fix, 105°C	*R*	*ppm*			3 000
7	silice, max.	SiO_2	*ppm*			200
8	suspensii, max.	—	*ppm*	0	200	50

5. Condiţii de proiectare. Instituţiile sau întreprinderile de specialitate, care proiectează instalaţii de răcire, trebuie să răspundă de stabilirea corectă a balanţei apă de răcire — pierderi — apă de adaos, de concepţia corectă a schemei şi construcţiei utilajelor, precum şi de procesul tehnologic de tratare a apei ales şi să garanteze realizarea şi menţinerea indicilor.

Proiectele trebuie să prevadă:

a) minimum de aparate pentru asigurarea controlului indicilor;

b) puncte sau laboratoare chimice, precum şi personal de control şi exploatare; personalul trebuie asimilat cu cel din

centralele termice categoria B de calificare, sau C, dacă există instalație de demineralizare totală a apei, în conformitate cu prevederile I.T. CR 5—68 (C 6—67);

c) instrucțiuni de exploatare și control al instalațiilor.

Dimensionarea corectă a unui circuit de răcire trebuie să țină seama, în special, de pierderile existente în circuit și anume:

a) pierderile prin evaporare raportate la apa recirculată în unitatea de timp și care sînt de circa 1% pentru o scădere de temperatură (Δt) de 6°C; ele sînt funcție de umiditatea relativă a aerului;

b) pierderile prin picături (antrenare) care depind de sistemele folosite și reprezintă în %, față de volumul de apă recirculată în unitatea de timp, următoarele valori:

— pulverizare	1	... 5%
— turnuri cu tiraj natural	0,3	... 1%
— turnuri cu tiraj forțat	0,1	... 3%;

c) pierderi prin purjare; cuantumul de purje se stabilește ținînd seama de debitul de apă de adaos disponibil, duritatea temporară, salinitatea totală și procedeul de condiționare aplicat.

5. Exploatarea și controlul indicilor. Instalațiile de tratare a apei pentru circuitele de răcire trebuie exploatate conform instrucțiunilor cuprinse în proiect și unui grafic de întreținere întocmit de beneficiar.

Exploatarea corectă se face urmărind menținerea unor indici optimi stabiliți de proiectantul de specialitate și controlați prin metode standardizate, cu anumită frecvență, în laboratoare sau puncte chimice dotate corespunzător, de către personal calificat și autorizat.

7. Concluzii. Instrucțiunile tehnice ISCIR privind indicii de calitate ai apei de răcire nominalizează și delimitează sarcinile și responsabilitățile dintre proiectant, constructor și beneficiar. Indicii de calitate fixați ca optimi în instrucțiuni constituie puncte de plecare pentru proiectare. Ținînd seama de toate particularitățile cazurilor în speță (variația compoziției apei brute, diversitatea materialelor de construcție a schimbătoarelor, situații de poluare a atmosferei etc.), urmează ca, pe baza observațiilor și a cercetărilor făcute de exploatare, să se stabilească, de la caz la caz, calitatea apei care să permită funcționarea în condiții de siguranță a schimbătoarelor de căldură.

Apariția instrucțiunilor tehnice impune necesitatea unei preocupări pentru cadrele tehnice de cercetare, proiectare și exploatare din întreprinderi pentru reducerea sistemelor de răcire la exploatarea la un regim corespunzător, precum și prevederea asigurării măsurilor adecvate pentru instalațiile în curs de proiectare.

De asemenea, MICh va trebui să transmită institutelor de cercetare și sectoarelor industriale sarcina asimilării și preparării inhibitorilor de coroziune atît de necesari în condiționarea apelor de răcire.

—— o ——

Reactivii complexanți pentru curățirea suprafețelor interioare ale cazanelor

Ing. G. Neuberger *)

Curățirea chimică a agregatelor de cazane și a întregului traseu apă-abur reprezintă o tehnică utilizată de mulți ani în termocentrale; îmbunătățirea condițiilor tehnice de funcționare a agregatelor spălate chimic, asociate cu avantajele economice, care sînt evidente și în general cunoscute, au făcut ca preocuparea pentru această problemă să fie și azi de mare actualitate.

Evoluția concepțiilor asupra necesității, tehnologiilor și a reactivilor recomandați la spălarea chimică a cazanelor este ilustrată de literatura tehnică de specialitate. Dacă, cu circa 30 ani în urmă, metoda „cea mai modernă" se reducea la o simplă fierbere cu soluții alcaline [1], tehnologiile elaborate ulterior au recurs la o gamă largă de reactivi, ca: acid fosforic [1—6], acid cromic [5], [6], acid citric [5], [7], [8], citrat de amoniu [7—10], acid sulfaminic [11], substanțe complexante de tipul acidului etilendiaminotetraacetic și sărurile de sodiu ale acestuia [1], [7], [12], amestecuri de reactivi [1], [2], [4], [13], conținînd uneori și acid citric, respectiv citrat de amoniu [2—5], [14], [15], [16] etc. Independent de toți acești reactivi enumerați, acidul clorhidric și sulfuric au fost și mai sînt folosiți într-o mare măsură [1—7], [14—22].

Menținerea curată a suprafețelor interioare de schimb de căldură a cazanelor din exploatare reprezintă un deziderat care nu este îndeplinit întotdeauna. Chiar și în cazurile așa-zise ideale, pelicula protectoare de magnetită, care crește continuu în grosime și are tendința de desprindere, trebuie îndepărtată periodic, pentru a se crea condiții de formare a unui nou strat protector, subțire, continuu și aderent. Aceasta conduce, chiar și în cazul lipsei oricăror depuneri, la necesitatea curățirii periodice a țevilor de cazan.

În exploatarea curentă, condițiile „ideale" sînt rareori îndeplinite, iar apariția depunerilor în sistemele fierbătoare se întîlnește destul de frecvent chiar și la cazanele de înaltă presiune, ceea ce conduce, evident, la necesitatea curățirilor chimice.

Dacă în ceea ce privește cazanele noi, impuritățile ce trebuie îndepărtate din țevi au o compoziție care este în general aceeași la toate agregatele (rugină, țunder de laminare, nisip, brocuri de sudură), situația cazanelor ce trebuie curățate chimic după o perioadă de exploatare este total diferită; în acestea din urmă, natura depunerilor ce trebuie îndepărtate poate fi foarte diferită, în funcție de modul în care a fost condus regimul chimic în exploatare. Alături de oxizi de fier, care sînt prezenți în toate depunerile, există de obicei și oxizi de cupru, iar de multe ori proporții variabile de silicați, sulfați, fosfați etc.

Compoziția eterogenă a depunerilor din cazanele ce trebuie curățate după o perioadă de exploatare, ca și faptul că aceste depuneri sînt foarte neuniform repartizate în sistemele fierbătoare, face ca problema curățirilor chimice „de exploatare" să fie foarte complicată, iar uneori nerezolvabilă. De aici rezultă că fiecare cazan ce trebuie spălat reprezintă un caz particular ce trebuie analizat și tratat ca atare; aplicarea unor „rețete" tip poate conduce fie la nereușita operației, fie la agravarea situației existente înaintea spălării, provocată, de exemplu, de desprinderi locale ale depunerilor și aglomerarea lor în colectoarele inferioare, de apariția unor coroziuni etc.

În lumina celor de mai sus, este ușor de înțeles de ce literatura tehnică de specialitate abundă în publicații despre spălările chimice de exploatare și cauzele care fac ca reactivii și rețetele aplicate și descrise să fie atît de variate și uneori controversate.

În ciuda diversității metodelor folosite, datele din literatură și statisticile oficiale din diferite țări arată că, la nivelul anului 1968, există o tendință vădită pentru utilizarea reactivilor complexanți, atît la spălările chimice ale cazanelor noi, cît și la curățirile de exploatare, cu mențiunea că la cazanele spălate după o perioadă de exploatare utilizarea complexanților este determinată de preponderența oxizilor de fier și cupru în depunerile existente.

O problemă de o importanță deosebită, care se pune cu ocazia efectuării spălărilor chimice, se referă la limitele de aplicare a procedeului în sine, în sensul cantității de depuneri ce pot fi îndepărtate pe această cale. Dacă la cazanele noi rugina și țunderul de laminare au o grosime de ordinul sutimilor de mm și sînt în general uniform repartizate în țevi, la cazanele supuse spălărilor chimice de exploatare se pot întîlni, și din

*) G. Neuberger este inginer la IRME.

acest punct de vedere, situații mult mai complicate: repartiția neuniformă a depunerilor și o grosime variabilă, greu de apreciat.

Aceste elemente, foarte diferite de la un caz la altul, fac ca să nu existe o normă clară și univocă pentru stabilirea periodicității curățirilor chimice de exploatare. De exemplu, în Franța, EdF recomandă efectuarea unor spălări chimice la intervale de trei ani. În U.R.S.S., se pleacă de la cifre mai concrete, considerîndu-se că trebuie să se treacă la spălarea chimică a cazanelor din exploatare în cazul existenței unor depuneri de maximum 180 g/m²; în alte țări se consideră admisibile depuneri ce ating 400 g/m².

Nici una din aceste recomandări nu pot oferi însă un criteriu univoc pentru stabilirea necesității spălării, deoarece ele nu sînt corelate și cu solicitările termice locale ale țevilor de ecran. Cu toată imperfecțiunea evidentă a acestor recomandări, ele dau, totuși, o idee asupra grosimii maxime a depunerilor, considerată acceptabilă la cazanele moderne. Admițînd o greutate specifică a depunerilor de 4 g/cm³ și luînd în considerare valoarea de 400 g/m², rezultă că spălarea chimică trebuie efectuată cînd depunerea a atins 0,1 mm.

În ciuda faptului că această cifră pare mică, ea poate fi considerată ca o limită rațională, dacă se iau în considerare următoarele:

— creșterea exponențială a solicitărilor termice locale o dată cu creșterea grosimii depunerilor;

— posibilitatea, totuși limitată, de îndepărtare pe cale chimică a unor depuneri, chiar și cu reactivi complexanți.

★

Gama reactivilor complexanți încercați sau chiar utilizați uneori pentru curățirea chimică a cazanelor este destul de mare; cu toate acestea, numai doi reactivi de acest tip s-au impus pe scară mai largă în practică: acidul citric, respectiv sărurile sale de amoniu, și acidul etilendiaminotetraacetic, respectiv sărurile sale de sodiu sau amoniu.

Avantajele acestor reactivi (utilizați întîi la spălarea cazanelor noi, iar apoi și la cele din exploatare) se bazează pe însuși modul în care are loc curățirea. În timp ce acidul mineral acționează asupra anionului:

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

$$FeO + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2O,$$

reactivul complexant acționează asupra cationului, cu care formează complecși foarte stabili avînd o structură ciclică care include și ionul metalic. În felul acesta rezultă:

— soluții adevărate, lipsite de suspensii, stabile într-o gamă largă de valori ale *p*H-ului;

— posibilitatea de a se face spălările și cu viteze de circulație relativ mici (<0,3 m/s);

— posibilitatea îndepărtării cuprului, fără pericolul redepunerii acestuia pe oțelul curățat;

— posibilitatea folosirii pompelor de alimentare a cazanelor pentru operațiile de spălare, datorită agresivității reduse a soluțiilor.

Pe lîngă cele de mai sus, reactivii complexanți prezintă avantaje și din punctul de vedere al domeniului de aplicare, ca, de exemplu, posibilitatea de a se spăla și oțelurile austenitice.

★

Acidul citric. Mecanismul de reacție dintre fier și acidul citric, respectiv citratul de amoniu, este încă incomplet elucidat, cu toate că se știe că 1 mol. acid citric poate lega patru echivalenți de Fe^{3+}, în timp ce Fe^{2+} este legat în proporție de un echivalent la 1 mol.

Se poate presupune că, în cazul fierului trivalent, se formează combinații de tipul $Cit_3^{4-} - Fe_1^{3+}$, cu cicluri de cinci atomi legate între ele prin punți. În cazul fierului bivalent este posibilă și existența unor legături coordinative.

Stabilitatea complecșilor de fier la diferite valori ale *p*H-ului, respectiv la variațiile de *p*H, este ușor de explicat dacă se ține seama de datele comunicate de Nachod [23], referitoare la gradul de disociere a acidului citric în funcție de *p*H (v. fig. 1). Din această figură rezultă că la *p*H = 2, de exemplu, soluția conține aproape în exclusivitate acid citric nedisociat. La *p*H = 3,5, în schimb, soluția conține 71% anion monobazic, 9% anion bibazic și numai 20% acid nedisociat. Întrucît numai formele ionizate au capacitatea de formare a chelaților, se poate înțelege că eficacitatea acestui reactiv se menține pe o bandă largă de *p*H, începînd din domeniul acid (*p*H = 3,5) și pînă în mediul alcalin (*p*H = 9)

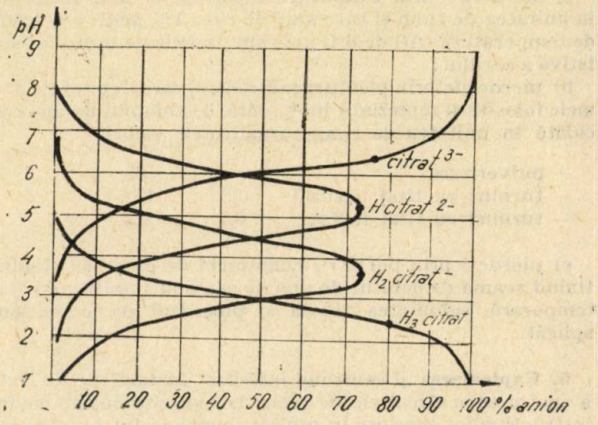


Fig. 1. Gradul de disociere a acidului citric, în funcție de *p*H.

Se poate presupune [24], [25] că complexarea fierului la variațiile de *p*H are loc după următoarea schemă:

1) În soluții acide de citrat de amoniu:

$$Fe^{3+} + [NH_4 - citrat]^{2-} \rightleftarrows [NH_4 - Fe - citrat]^{+}$$

Ionul feric este ținut în soluție sub formă de ion complex ce se află în echilibru cu ionul liber și cu agentul complexant.

2) În soluții aproape neutre de citrat de amoniu:

$$[NH_4 - Fe - citrat]^{+} + OH^{-} \rightleftarrows [Fe - citrat] + NH_4OH$$

Chelatul intră într-un echilibru în care probabil că predomină molecula de citrat feric.

3) La trecerea în mediu alcalin este posibilă apariția combinațiilor de forma:

a) $[Fe-citrat] + OH^{-} \rightleftarrows [Fe-citrat-OH]^{-}$

b) $[Fe-citrat-OH]^{-} + OH^{-} \rightleftarrows [Fe-citrat-(OH)_2]^{2-}$

c) $[Fe-citrat-(OH)_2]^{2-} + OH^{-} \rightleftarrows [Fe-citrat-(OH)_3]^{3-}$

d) $[Fe-citrat-(OH)_3]^{3-} \rightleftarrows [Fe-citrat] + 3OH^{-}$

$$\downarrow\uparrow$$

$$Fe(OH)_3 + [citrat]^{3-}$$

Cu fierul bivalent reacțiile decurg în mod similar.

Deplasarea reacției 3d înspre formarea hidroxidului poate fi provocată de o creștere generală a concentrației soluției în reactanți sau de o cantitate insuficientă de reactiv complexant.

Din cele de mai sus rezultă o concluzie importantă pentru practică: în soluții alcaline trebuie să existe o cantitate de citrat de cel puțin 1 mol. la 1 mol. de fier dizolvat, pentru ca echilibrul reacției 3d să nu fie deplasat spre formarea hidroxidului.

În cazul cuprului, element din grupa metalelor nobile, trebuie să se lucreze în mediu oxidant (acceptor de electroni) și alcalin (amoniacal), pentru a se crea condițiile necesare formării complecșilor stabili. În mediu acid, cuprul nu este complexat de acidul citric, respectiv cuprul dizolvat se depune pe suprafața țevilor curate de fier.

Această comportare diferențiată a acidului citric față de fier și cupru, în funcție de *p*H, permite de obicei efectuarea spălărilor chimice cu o singură soluție, în care *p*H-ul este mărit treptat, o dată cu adaosul de oxidant. Încheierea spălării într-un mediu oxidant și la *p*H alcalin prezintă avantaje din punctul de vedere al formării unui film protector. Cerce-

tările efectuate [25] au scos în evidenţă existenţa unui film de oxid de fier hidratat, foarte subţire, uniform şi mai ales stabil.

Probleme de coroziune. În cazul prezenţei simultane a fierului metalic, alături de oxizi de fier şi de cupru, într-o soluţie avînd caracter acid, există trei posibilităţi de corodare a oţelului:

1. Atacul direct al acidului

$$Fe^{\circ} + 2H^{+} \longrightarrow Fe^{2+} + H_2$$

2. Oxidarea fierului de către ionul feric

$$Fe^{\circ} + 2Fe^{3+} \longrightarrow 3Fe^{2+}$$

3. Dizolvarea fierului prin ionii de cupru

$$Fe^{\circ} + 2Cu^{+} \longrightarrow 2Cu^{\circ} + Fe^{2+}$$

Dintre aceste trei reacţii posibile, pierderile de metal revin în mod preponderent reacţiei 1.

În cazul curăţirilor chimice ale cazanelor cu acid citric, unde se menţin concentraţii reduse de acid liber, s-ar părea că temerea pentru coroziuni conform reacţiei 1 nu ar trebui să existe, concentraţia în ioni de hidrogen fiind de ordinul $1 \times 10^{-3,5}$ mol./litru. Cu toate acestea, încercările de laborator au arătat că viteza de coroziune a soluţiilor de 3% monocitrat de amoniu, la pH = 3,5 (faţă de oţelul carbon), este de ordinul 19 g/m². h, ceea ce nu este neglijabil. Prin adaosuri de inhibitori adecvaţi, viteza de coroziune poate fi redusă de circa 100 de ori (cel mai bine s-a comportat inhibitorul cunoscut sub denumirea Rodine 115) [24].

Adaosurile de inhibitori la soluţiile de spălare pe bază de monocitrat de amoniu sînt utile nu numai pentru reducerea vitezei de coroziune, ci şi pentru că pe această cale se poate realiza şi o economie de acid citric. Într-adevăr, soluţiile de citrat nu fac diferenţă între fierul din oţel şi cel din oxizi; în prezenţa inhibitorilor, care au acţiune de protecţie selectivă pentru metal, acidul citric din soluţie rămîne, aproape în totalitate, disponibil pentru reacţia cu oxizii. În felul acesta se elimină consumul de substanţă complexantă pentru reacţia, nedorită, cu metalul de bază.

Reacţiile 1 şi 3 sînt de importanţă secundară din punct de vedere practic, deoarece în faza acidă se lucrează în mediu reducător.

Curăţirea chimică a cazanelor cu soluţii pe bază de acid citric prezintă neîndoielnic numeroase avantaje. Cu toate acestea, acest reactiv prezintă şi inconveniente mari:

— preţul de cost ridicat,

— lipsa eficacităţii, sau în orice caz o eficacitate foarte redusă pentru îndepărtarea unor depuneri de altă natură decît cele oxidice (silicaţi, fosfaţi, combinaţii ale kaliului şi magneziului etc.).

Din aceste motive, cercetările şi experimentările au fost conduse şi în direcţia utilizării unor alţi reactivi cu caracter complexant. Dintre aceştia, sărurile de sodiu şi amoniu ale oxidului etilendiaminotetraacetic tind să capete o utilizare largă în curăţirea chimică a cazanelor.

Acidul etilendiaminotetraacetic. Capacitatea acestui reactiv (EDTA) pentru formarea complexonaţilor metalici este bine cunoscută din chimia analitică, tăria combinaţiilor complexe ce se formează fiind caracterizată de logaritmul zecimal negativ al constantei lor de nestabilitate, notată pK = −lgK. Cum, pe de altă parte, formarea diferiţilor complexonaţi metalici este puternic influenţată de pH, rezultă posibilitatea utilizării acestui reactiv pentru dizolvarea selectivă a unor depuneri avînd compoziţii variate.

Tabela 1

$pK_1 = 2,0$; $pK_2 = 2,76$; $pK_3 = 6,16$; $pK_4 = 10,26$

Cationul	Complexul	$\lg K_{MY}$
Mg^{2+}	MgY^{2-}	8,69
Ca^{2+}	CaY^{2-}	10,96
Fe^{2+}	FeY^{2-}	14,33
Cu^{2+}	CuY^{2-}	18,80
Fe^{3+}	FeY^{-}	25,10

Valorile cu semn schimbat ale logaritmilor constantelor de disociere şi ale logaritmilor constantelor de nestabilitate ale acidului etilendiaminotetraacetic (notat Y) la 20° sînt date, pentru cîteva metale, în tabela 1 (după Pribil, [26]).

pH-ul optim de complexare pentru aceşti cationi, în funcţie de pK, este indicat în figura 2 [27].

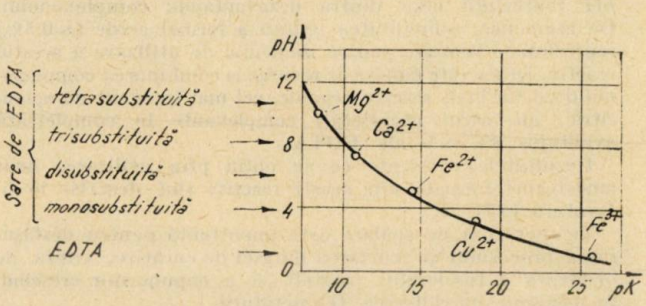


Fig. 2. pH-ul optim de formare a unor complexonaţi metalici.

Pentru a obţine, în practică, condiţiile optime de dizolvare a depunerilor (dintr-un sistem fierbător de exemplu) este necesar ca soluţia de EDTA să aibă pH-ul corespunzător capacităţii optime de complexare pentru cationul aflat în depunere. În cazul în care în depunere sînt prezenţi cationi avînd pK diferit, este necesar să se lucreze, succesiv, la valori pH diferite, corespunzătoare cationului de dizolvat.

Pe măsura desfăşurării reacţiei de complexare, pH-ul se modifică spre o valoare constantă, tinzînd, de cele mai multe ori, să crească [27]. Stabilizarea pH-ului arată că reacţia de formare a complexonatului tinde să se oprească din cauza epuizării unuia dintre reactanţi.

Din cele arătate, rezultă că în practică este util să se lucreze cu un oarecare exces de reactiv faţă de cantitatea stoichiometrică, pe baza aprecierii cantităţii de depuneri existente, putîndu-se obţine în felul acesta o accelerare a dizolvării.

Curbele din figura 3 arată influenţa pe care o are excesul de reactiv complexant asupra gradului de dizolvare a ţunderului în decurs de patru ore [7]. Se observă că, pe măsură ce excesul de reactiv creşte, cantitatea de ţunder dizolvată, în aceeaşi perioadă de timp, este apreciabil mai mare. Aceste curbe mai scot în evidenţă şi influenţa pK la diferitele valori pH (v. fig. 2). Se constată că la pH = 10, dizolvarea aproape că nu are loc.

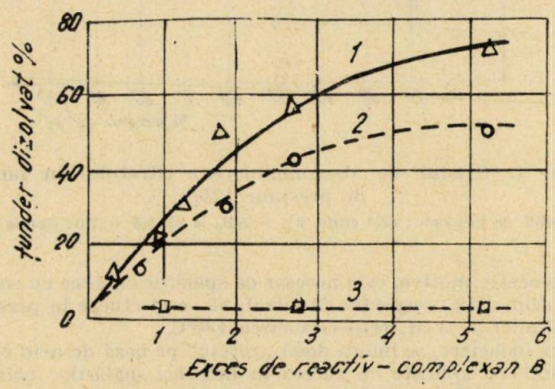


Fig. 3. Influenţa excesului de reactiv (faţă de cantitatea stoichiometrică) asupra dizolvării ţunderului:
Condiţii de încercare: 4 ore, la fierbere; 1 — pH = 4; 2 — pH = 6; 3 — pH = 10.

Problema cantităţii de reactiv necesită totuşi unele precizări suplimentare. Cu toate că prin mărirea excesului se obţine o dizolvare mult mai rapidă a depunerilor, preţul de cost ridicat al complexonului face ca, pentru a nu se ajunge la pierderi de reactiv în cazul unei supraaprecieri a cantităţii

necesare, să se prefere o eventuală repetare a spălării pentru îndepărtarea aceluiaşi cation (acelaşi pH de spălare). Din aceste motive, concentraţia reactivului în soluţia de spălare se alege de obicei de 0,5—1 g/l.

În cazul unor depuneri combinate conţinînd cationi cu pK diferit (de ex. Ca^{2+} şi Fe^{3+}), spălarea într-o singură etapă, cu modificarea pH-ului, este contraindicată, deoarece se poate ca unul din cationi (cel complexat la început) să precipite din soluţie. Această dependenţă, destul de strictă, de pH reprezintă unul dintre dezavantajele complexonului. De asemenea, solubilitatea redusă a formei acide (~0,5%) reprezintă o limitare pentru domeniul de utilizare a acestui reactiv. Din aceste motive se recurge la combinarea complexonului cu un înalt reactiv organic, cel mai frecvent cu acidul citric, ale cărui proprietăţi complexante le completează avantajos pe cele ale EDTA.

Rezultatele excelente ce se obţin prin utilizarea unor amestecuri formate din aceşti reactivi sînt descrise în literatură [27].

Temperatura de spălare este importantă pentru desfăşurarea procesului şi scurtarea duratei de curăţire, viteza de dizolvare a ţunderului, ruginii şi a depunerilor crescînd, în general, cu ridicarea temperaturii.

Pentru combinaţiile EDTA, temperatura optimă de spălare este de circa 150°C, cînd se obţine o accelerare evidentă a dizolvării depunerilor, fără ca reactivul complexant să marcheze descompuneri demne de luat în considerare. În cazul acidului citric sau al sărurilor sale (singur sau în amestec cu EDTA), trebuie să se ţină seama de gradul de descompunere (v. fig. 4), care creşte cu temperatura şi pH-ul (tabela 2)

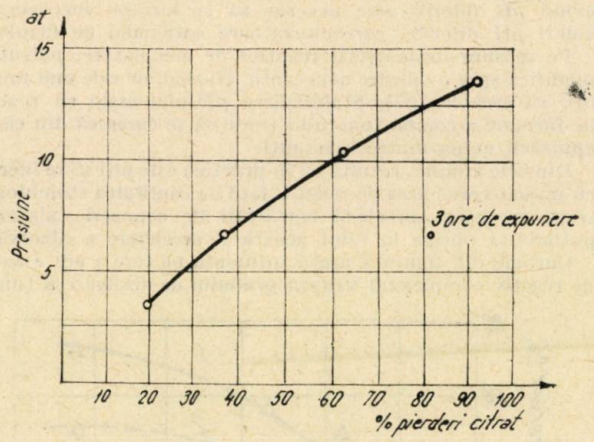


Fig. 4. Gradul de descompunere a citratului în funcţie de presiune [25]:

Condiţii de încercare: acid citric 3% + NH_3 la pH 6,5 — 7,0; durata = 1h

Din aceste motive, este necesar ca spălările chimice cu soluţii de acid citric, respectiv de citrat, să se efectueze la presiuni mai mici de 3 at, respectiv circa 130°C.

În încheiere, se indică două „reţete" pe bază de acid citric şi EDTA, aplicate cu succes în practica spălărilor chimice ale agregatelor de cazane. Prima se referă la curăţirea chimică a cazanelor noi, a doua fiind recomandată pentru spălările de exploatare.

Tabela 2

Stabilitatea citratului la 6 ata

Concentraţia soluţiei de citrat	pH-ul soluţiei	pH realizat prin:	Durata încercării	Pierderi de citrat
3%	6,5	adaos de NH_3	3 h	80%
3%	5,2	adaos de NH_3	3 h	75%
3%	3,5	adaos de NH_3	3 h	37%
3%	1,9	fără adaos	4 h	15%

Spălarea cazanelor noi. După spălarea mecanică, degresarea şi clătirea obişnuită, spălarea se face cu un amestec de acizi organici, concentraţia soluţiei de spălare în substanţă uscată fiind de 1%.

Amestecul de acizi organici este format din 36% acid citric, 36% acid glicolic, 28% acid EDTA, tamponat cu soluţie de amoniac la pH = 5.

După introducerea acizilor organici, se dozează inhibitorul (Rodine) în concentraţie de 0,3% în circuit.

Spălarea se poate face cu pompele de alimentare ale cazanului, în funcţie de materialul din care sînt executate; pH-ul soluţiei de spălare este menţinut între 4,6—5,1, prin dozare de H_2SO_4 în conducta de refulare a pompelor de spălare şi injecţie de N_2H_4 înaintea acestor pompe (la pH = 5).

Temperatura de spălare: 110°C; durata: pînă cînd concentraţia fierului în soluţie este aproximativ constantă.

În continuare se execută clătirea şi pasivarea cu hidrazină.

Pentru cazanele din exploatare. Se foloseşte o soluţie de complexon III (sare disodică) şi acid citric în proporţie de 75% : 25%, la care se adaugă 5—10% hidrazină, ca reducător, şi amoniac, pentru stabilirea pH-ului dorit.

Concentraţia soluţiei în substanţă uscată: 3—5 g/l. În cazul în care depunerile existente în sistem consumă reactivii introduşi, se repetă operaţia, cu îndepărtarea soluţiei şi nu prin mărirea concentraţiei substanţelor complexante.

Dacă depunerile sînt formate din elemente diferite (Ca^{2+} Mg^{2+}, Fe^{2+} etc.) se execută spălări succesive, la diferite valori pH (v. fig. 2), începîndu-se cu pH-ul corespunzător elementului preponderent în depunere.

Temperatura se menţine la 130—140°V (v. fig. 4), circulaţia putînd fi asigurată de arzătoarele cazanului. Durata fiecărei faze se stabileşte analitic (stabilizarea pH-ului, consumul de complexon).

Bibliografie

[1] Seyb, E. *Die Entfernung von Rost und Zunder aus Dampferzeugern.* BWK *12* (1960), nr. 1, p. 9—13.

[2] Resch, G. *Ziel und Art der Kesselbeizung.* Mitt. V.G.B. nr. 64, 1960, p. 27—34.

[3] Dorsam, H. şi Kretzer, R. *Neuere Erfahrungen mit Grosskesselbeizungen.* Mitt. VGB, nr. 53, 1958, p. 92—98.

[4] Heitmann, H. G. *Chemische Reinigung von Bensonkesseln.* Mitt. VGB (1959), nr. 62 (oct.), p. 319—334.

[5] Skrob, M. S. şi Prohorov, F. G. *Vodopodgotovka i vodnti rejim paroturbinih elektrostanţii.* Gosenergoizdat, Moscova, 1961.

[6] Kraus, H. *Spălarea acidă a cazanelor mari.* Energetica, 12, 1964, nr. 3, p. 131—134.

[7] Mamet, A. P. şi Vlasova, A. F. *Issledovania rastvoreniia kotelnîh otolojenii kompleksoobrazuiuşcimi reaghentami.* Teploenerghetika, nr. 11, 1962, p. 69—74.

[8] Alfano, S. *Cleaning of iron system using ammoniated citric acid.* Combustion, *13*, 1962, nr. 11, p. 17—24.

[9] Alfano, S. şi Belle, W. E. *Chemical removal of magnetite and copper.* Proc. Int. Water. Conf. 22 (1961), p. 41—46; Discuss. 46—51. În traducere: Himiceskoe udalnie magnetita i medi iz kotlov. Express informaţiia teploenerghetika nr. 13 (3 apr. 1963) — referat nr. 59.

[10] Tatarenko, I. I., Pomirci, R. I. şi Miakas, V. I. *Uskoreniia predpuskovaia kislotnaia ocistka bloka 150 MW.* Teploenerghetika nr. 10, 1963, p. 59—62.

[11] Louks, C. M. *Chemically cleaned boilers last longer.* Power, *106*, 1962, nr. 12, p. 158—159.

[12] Bursik, A. *Curăţirea chimică a cazanelor cu ajutorul sintronului B.* Energetika (R.S.C.) nr. 10, 1964, p. 491—494.

[13] Volkov, A. A. şi Kurilin, B. S. *Opît himiceski ocistki energheticeskovo oborudovanie.* Energhetik *11*, 1963, nr. 6, p. 15—19.

[14] Klump, W. *Die Säurebeizung von Krosskesselanlagen.* Mitt. VGB, nr. 63, 1959, p. 453—454.

[15] Rummel, K. *Über das Beizen neuer Hochdruckkessel.* Mitt. VGB, nr. 53, 1958, p. 98—101.

[16] Schiffers, A., Flunkert, Fr. şi Schmidt, I. *Erfahrungen beim Beizen von vier 500 t/h Bensonkesseln mit Salzsäure bzw. oragnischen Säuregemischen.* Energie, nr. 10, 1965.

[17] Heitmann, H. G. *Das Reinigen des Kreislaufs neuer Dampfkraftwerke.* Techn. Uberw. *3*, 1962, nr. 7, p. 261—268.

[18] Podobaev, N. I. şi Kurbanov, F. K. *Issledovanie vlianiia kisloroda na zaşcitnoe deistvie inghibitorov kislotnoi korozii v salionoi kislote.* Teploenerghetika, nr. 4, 1964, p. 73—75.

[19] Resch, G. *Kupferzementation während einer Kesselbeizung.* Mitt. VGB, nr. 60, 1959, p. 219—220.

[20] Zidek, R. şi Mrkva, M. *Kyseli vyvarováni nových kotlev.* Energetika (R.S.C.), *9*, 1959, nr. 2, p. 75—77.

[21] Lebedev, S. A. şi Lisena, V. P. *Schema kislotnoi promivki ekonomaizera kotla.* Energhetik nr. 2, 1961, p. 7—8.

[22] Fodoreanu, C. şi Neuberger, G. *Unele aspecte privind spălarea acidă a cazanelor.* Buletinul Sesiunii tehnico-ştiinţifice I.R.M.E. (1964).

[23] Nachod, F. C. *Ion Exchange, theory and application.* Academic Press — New York, 1949, p. 179.

[24] Bell, W. E. *Some aspects of corrosion and chemistry in the citrosolv process*, p. I. Combustion, *35*, 1964, nr.10, p. 23—26.

[25] Bell, W. E. *Some aspects of corrosion and chemistry in the citrosolv process*, p. II. Combustion, *35*, 1964, nr. 11, p. 25—28.

[26] Pribil, R. *Complexonii în chimia analitică.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1964.

[27] Magulova, T. M. *Primenenie kompleksonov i kompoziţii na ih asnova dlia exploataţionih himiceskih ocistok teploenergheticeskovo oborudovaniia.* Teploenerghetika, nr. 12, 1965, p. 38—43.

—— o ——

CRONICĂ

ANALIZA ACTIVITĂŢII REVISTEI „ENERGETICA“ ÎN CADRUL CNIT

În ziua de 10 aprilie 1969 a avut loc la Consiliul Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor analiza activităţii revistei „Energetica” în perioada 1 ianuarie 1967 — 31 martie 1969. Şedinţa de analiză — la care au participat membrii Comitetului de redacţie, membrii redacţiei revistei şi cîţiva invitaţi reprezentînd principalele sectoare de activitate energetică de la noi din ţară — a fost condusă de prof. ing. C. Dinculescu, membru corespondent al Academiei R.S.R., preşedintele CNIT.

Din referatul prezentat de Comitetul de redacţie al revistei, cît şi din discuţiile purtate cu ocazia analizei, a rezultat că orientarea principală a revistei în perioada analizată a fost axată pe sarcinile ce decurg din Directivele Congresului al IX-lea al P.C.R. cu privire la valorificarea surselor energetice şi electrificarea ţării pînă în anul 1975, în sensul ridicării nivelului tehnic al proiectării, construcţiei şi exploatării instalaţiilor energetice.

În perioada analizată au fost publicate 213 articole, cu un număr total de 1206 pagini, precum şi 126 pagini cuprinzînd cronici, recenzii şi informaţii tehnice.

S-a constatat că în această perioadă s-a acordat o mai mare atenţie ca în trecut articolelor care tratează probleme economice şi de organizare şi conducere ştiinţifică a producţiei în sectorul energetic şi articolelor care prezintă realizări importante în energetica ţării noastre.

În perioada analizată au apărut patru numere speciale, cu următoarele teme:

— nr. 9/1967 — energetică nucleară;

— nr. 7/1968 — lucrările Simpozionului ONU privind alimentarea cu căldură şi energie electrică a marilor ansambluri industriale (Bucureşti, mai 1968);

— nr. 2/1969 — aniversarea a 20 de ani de activitate a institutelor de proiectare ale M.E.E. (ISPE şi ISPH);

— nr. 3/1969 — lucrările celei de-a VII-a Sesiuni plenare a Conferinţei Mondiale a Energiei (Moscova, august 1968).

Au fost scoase în evidenţă, în referat, şi unele aspecte negative care mai persistă în activitatea revistei, printre care: ponderea redusă a articolelor din exploatare şi din sectorul hidroenergetic, intervalul mare de la intrarea articolelor în redacţie pînă la apariţia lor, calitatea şi conţinutul necorespunzătoare ale unor reclame, hîrtia de calitate inferioară etc.

La discuţiile purtate au luat cuvîntul majoritatea participanţilor, făcînd observaţii şi propuneri interesante şi utile în vederea îmbunătăţirii în continuare a activităţii revistei „Energetica”.

În încheiere, pentru îmbunătăţirea activităţii şi ridicarea în continuare a nivelului revistei, tov. prof. ing. C. Dinculescu, preşedintele CNIT, a dat indicaţii pentru stabilirea unui plan de măsuri, pe baza celor mai importante observaţii făcute în şedinţă, din care se reţine:

— Echilibrarea repartizării articolelor pe specialităţile sectorului energetic şi extinderea preocupărilor revistei şi la domeniul construcţiilor energetice, instalaţiilor aferente construcţiilor energetice etc.

— Mărirea numărului de articole de sinteză a prezentării ultimelor realizări pe plan mondial din diverse domenii ale sectorului energetic.

— Tratarea într-un număr mult mai mare de articole a problemelor de exploatare a instalaţiilor energetice, însă la un nivel tehnic ridicat.

— Publicarea unor materiale în revistă care să reprezinte opinii din partea specialiştilor ce activează în cercetare, proiectare, execuţie, exploatare sau învăţămînt, luări de poziţie sau deschideri de discuţii etc., în problemele actuale.

— Publicarea unor numere de revistă pe anumite teme date, care preocupă anumite sectoare.

— Publicarea de materiale care să prezinte realizările din ţară însoţite de date tehnice în legătură cu obiectivele respective.

— Publicarea, în fiecare an, a tematicii generale cît şi a unei liste de subiecte preferenţiale, atrăgîndu-se pentru publicarea unor articole personalităţi din cadrul şi din afara Ministerului Energiei Electrice.

— Publicarea unui număr mai mare de articole privind amenajările hidroelectrice şi modul de comportare în exploatare a diferitelor obiecte componente, precum şi comportarea în exploatare a tuturor tipurilor de centrale şi instalaţii, statistica avariilor şi analiza ştiinţifică a cauzelor şi efectelor lor.

— Obţinerea unui număr mult mai mare de articole de la autori din provincie.

— Mărirea numărului de pagini al revistei.

— Mărirea numărului de abonamente, prin difuzarea mai largă a revistei şi la specialişti care activează în afara Ministerului Energiei Electrice.

Intrînd în cel de-al 17-lea an de apariţie şi prin caracterul şi nivelul problemelor tratate, revista „Energetica" — organul de specialitate al M.E.E. şi CNIT — trebuie să rămînă în continuare publicaţia periodică prin care se difuzează materialul informativ de bază pentru cadrele de energeticieni cu pregătire superioară.

Redacţia

— o —

Recenzii

STANISAVLIEVICI, L. **Metode noi folosite în tratarea apei de cazane.** I.C.D.T., Bucureşti, 1968, 86 p., 26 fig, 117 ref. bibl.

Lucrarea reprezintă sinteza numeroaselor publicaţii recente din domeniul tratării apei de cazane de abur, filtrată de îndelungata experienţă a autorului, cunoscut specialist în domeniul chimiei apelor industriale şi în special în domeniul problemelor puse de circuitul apă-abur al centralelor termoelectrice.

Tehnica tratării apei pentru cazanele de abur a înregistrat progrese însemnate în ultimii ani, determinate în primul rînd de exigenţele sporite privind calitatea apei, prin creşterea parametrilor aburului şi prin perfecţionarea constructivă a cazanelor, precum şi necesitatea măririi eficienţei instalaţiilor de tratare a apei. Acestea capătă, mai ales la centralele industriale mari, o amploare şi o complexitate deosebită, aspectul funcţionării lor economice devenind un factor de proiectare primordial.

Aceste progrese s-au manifestat în special în următoarele direcţii:

— perfecţionarea metodelor de pretratare a apei;

— perfecţionarea metodelor de tratare a apei prin folosirea filtrelor de aluvionare şi a unei game largi de materiale de aluvionare;

— îmbunătăţirea performanţelor de exploatare a răşinilor schimbătoare de ioni;

— stabilirea unor principii privind tratarea condensatelor de la turbine şi de la consumatori industriali;

— automatizarea operaţiilor de exploatare a instalaţiilor de tratare chimică a apei şi controlul chimic automat al calităţii apei.

Pretratarea apei capătă o importanţă din ce în ce mai mare, pentru eliminarea cît mai completă a impurităţilor din apă, care influenţează negativ asupra proceselor de demineralizare totală şi care apar în cantităţi mărite, pe măsura poluării surselor de apă, fenomen caracteristic intensificării industrializării. Acţiunea reactivilor de coagulare este accelerată prin activatori, care provoacă o mărire a flocoanelor şi a vitezei de floculare. În cazul apelor foarte impurificate cu substanţe organice, se folosesc, după flocularea — coagularea apei şi filtrarea mecanică, filtre ionice cu răşini de adsorbţie, numite filtre barieră sau scavenger.

În domeniul tratării propriu-zise a apei pentru cazane, în prezent se aplică practic exclusiv procedeele de demineralizare ionică. Masele schimbătoare de ioni trebuie să corespundă condiţiilor mai grele de funcţionare, create de accentuarea poluării apelor naturale. Răşinile sintetice macroporoase, realizate în ultimii ani, se comportă mai bine în exploatare decît răşinile convenţionale, necesită mai puţină apă de spălare, dau un efluent cu silice mai puţină şi au o funcţionare mai constantă.

Pentru a mări eficienţa utilizării capacităţii răşinilor schimbătoare, s-a elaborat recent tehnologia regenerării în contracurent, care evită rămînerea în filtrele ionice a unor zone cu masa schimbătoare neregenerată.

O altă metodă, în curs de punere la punct, este funcţionarea continuă a filtrelor ionice, care evită întreruperile pentru regenerare şi se realizează prin transportul schimbătorului pe cale hidraulică, în cursul parcurgerii fazelor procesului. Ea poate fi aplicată la dedurizarea apei, la demineralizarea apei în două etaje (cationic — anionic) şi la filtrele cu pat mixt.

Schimbătorii cu pat mixt reprezintă o serie extrem de mare de schimbători cationici şi anionici alternaţi. Echilibrele chimice care se realizează astfel sînt deosebit de favorabile şi scăpările de ioni în efluent sînt reduse la minim.

O altă tendinţă recentă în domeniul tratării apei pentru centralele termoelectrice este folosirea microrăşinilor în filtre de aluvionare. Se combină în acest fel procedeul filtrării mecanice cu filtrarea ionică. În acest fel sînt reţinute din apa de alimentare sau din condensat substanţele în suspensie, cele coloidale şi substanţele în soluţie. Filtrele de aluvionare în care se aplică procedeul sînt echipate fie cu site plane, fie cu elemente cilindrice, denumite şi lumînări (bougies). Deşi vitezele de filtrare sînt în general mici, datorită suprafeţei filtrante mari se pot atinge debite orare mari, de exemplu 125...150 m^3/h la un filtru cu diametru relativ redus, de 800 mm. Răşinile folosite au dimensiuni de 30—70 microni, granulaţia trebuind să fie cît mai uniformă, de ordinul a 50 microni. Ţesătura din fibre sintetice care îmbracă elementele filtrante din oţel inoxidant are ochiuri de cîţiva microni.

În ceea ce priveşte tratarea condensatelor din centralele termoelectrice, ea este considerată astăzi în modul următor: la cazanele de înaltă presiune cu străbatere forţată şi la cazanele cu tambur cu reglarea temperaturii aburului prin injecţie de condensat, se impune tratarea condensatului. Pentru cazanele cu tambur cu presiunea sub 100 kgf/cm^2 nu se consideră necesară tratarea condensatului turbinelor. Condensatele industriale însă trebuie supuse unei tratări, ele fiind de regulă impurificate, cel puţin cu produse ale coroziunii conductei de aducere a condensatului.

Automatizarea operaţiilor la instalaţiile de tratare a apei pentru cazane şi controlul automat al indicilor caracteristici de calitate a apei elimină manevrele greşite, scurtează timpul necesar acestor manevre, menţine practic constantă calitatea apei tratate şi reduce numărul operatorilor necesari, uşurînd condiţiile de muncă a acestora. Automatizarea integrală a unei instalaţii de demineralizare nu apare justificată decît în anumite cazuri specifice şi nu poate constitui o regulă.

Prin sinteza judicioasă a materialul u vast publicat în ultimul timp, prin prei

zentarea celor mai reprezentative detalii noi în domeniile abordate şi prin ampla sa bibliografie, lucrarea prezintă un interes deosebit pentru specialiştii care, în cercetare, proiectare, exploatare sau învăţămînt, sînt interesaţi în realizările cele mai recente din domeniul tratării apei de cazane.

Ing. **Alexandru Mişu**

Regulamentul pentru furnizarea şi utilizarea energiei electrice

Prin Hotărîrea Consiliului de Miniştri nr. 2763 din 13 decembrie 1968, s-a aprobat „Regulamentul pentru furnizarea şi utilizarea energiei electrice", regulament care a intrat în vigoare la 90 de zile de la data publicării Hotărîrii mai sus menţionate în Buletinul Oficial al R. S. România nr. 167 din 22 decembrie 1968.

Acest nou regulament vine să înlocuiască fostul regulament de utilizare a energiei electrice, intrat în vigoare din martie 1956.

Ca urmare, după 12 ani de aplicare, apăruse necesitatea ca fostul regulament să fie modificat, în sensul îmbunătăţirii sale, ţinînd seama de toate modificările de ordin tehnic şi organizatoric, inclusiv de experienţa căpătată în această perioadă de aplicare (1956—1968).

Astfel, era necesar să se pună de acord prevederile noului regulament cu o serie de schimbări care au intervenit, ca: trecerea instalaţiilor de distribuţie a energiei electrice de la fostele sfaturi populare la Ministerul Energiei Electrice în anul 1963, stabilirea noului sistem tarifar cu începere de la 1 ianuarie 1963, cu principii diferite faţă de sistemele de tarifare anterioare, îmbunătăţirea sistemului de normare a consumului de energie electrică, şi în consecinţă determinarea necesarului de energie electrică a marilor consumatori industriali, intensificarea acţiunilor de economisire a energiei electrice şi altele.

De asemenea, era necesar să se stabilească în mod cît mai concret obligaţiile ce revin atît furnizorului cît şi consumatorului de energie electrică, îndeosebi cu privire la: economia de energie electrică, îmbunătăţirea reglajului curbei de sarcină, funcţionarea centralelor electrice industriale, precum şi a instalaţiilor de compensare a puterii reactive.

Regulamentul în această nouă formă cuprinde şase părţi, cu un număr de 291 articole, grupate astfel:

Partea I (art. 1—7) cuprinde dispoziţii generale privind sfera de acţiune a acestui regulament, precum şi definirea noţiunilor de bază folosite în cadrul regulamentului: furnizor, consumator, subconsumator. De asemenea, în această parte se cuprind prevederi referitoare la stabilirea regimului şi modului de consum al energiei electrice, la proiectarea, executarea, exploatarea şi întreţinerea instalaţiilor consumatoare şi de producere de energie electrică ale consumatorilor, controlul instalaţiilor şi utilizării energiei electrice. Se mai definesc punctele de consum precum şi categorisirea consumatorilor după criteriile de putere şi consum (mari consumatori industriali, mici consumatori, mari consumatori neindustriali).

Partea a II-a (art. 8—116) se referă la furnizarea energiei electrice către marii consumatori industriali şi utilizarea ei de către aceştia. Se tratează condiţiile de contractare, formalităţile pentru obţinerea avizelor energetice privind racordarea de noi consumatori, precum şi condiţiile de furnizare şi de întrerupere a furnizării de energie electrică.

Această parte conţine zece capitole, şi anume:

— Condiţii de contractare a energiei electrice, în care se arată tipurile de contracte pentru furnizarea energiei electrice şi conţinutul acestor contracte;

— Condiţiile pentru racordarea instalaţiilor electrice, în care se arată cum se obţin acordurile prealabile şi condiţiile tehnice ale instalaţiilor consumatorilor. De asemenea, se arată conţinutul studiilor tehnico-economice necesare pentru lucrările de racordare;

— Proiectarea şi montarea instalaţiilor electrice ale consumatorilor, în care se arată care sînt elementele din studiile tehnico-economice care sînt necesare pentru a fi avizate de către Inspecţia Generală Energetică;

— Instalarea aparatelor pentru măsurarea energiei electrice conţinînd obligativitatea montării aparatelor de măsură şi condiţiile de verificare a acestora după categoria de consumatori;

— Racordarea şi controlul tehnic al instalaţiilor electrice ale consumatorilor, unde se arată cum se întocmesc dosarele de instalaţii electrice ale consumatorilor şi condiţiile de îndeplinit pentru racordarea acestor consumatori;

— Modificări în instalaţiile consumatorilor. Acestea se execută numai cu înştiinţarea întreprinderilor furnizoare de energie electrică;

— Exploatarea instalaţiilor electrice de către consumatori. Conţine: răspunderea pentru starea şi întreţinerea instalaţiilor electrice, obligaţiile generale ale consumatorilor cu privire la exploatare, reglarea curbei de sarcină, ţinerea evidenţei consumului de energie electrică;

— Condiţiile de întrerupere şi limitare a furnizării energiei electrice. Se arată cazurile şi modalităţile în care au loc asemenea operaţii de întreruperi a furnizării de energie electrică;

— Responsabilitatea furnizorului pentru furnizarea insuficientă a energiei electrice. Se arată cazurile cînd se aplică penalizări furnizorului de energie electrică, precum şi cazurile cînd acesta este absolvit de asemenea penalizări;

— Prevederi speciale pentru consumatorii care au instalaţii proprii de producere de energie electrică. Se arată cum se întocmesc planurile anuale de producţie pentru aceste centrale, precum şi planul de reparaţii şi cum se supun comenzii de dispecer al sistemului electroenergetic.

Partea a III-a (art. 117—185) se referă la furnizarea energiei electrice către marii consumatori neindustriali şi micii consumatori şi utilizarea energiei electrice de către aceştia. Problemele tratate în această parte sînt similare cu cele din partea a II-a, însă, bineînţeles, adaptate la specificul micilor consumatori şi al marilor consumatori neindustriali.

Această parte conţine opt capitole, şi anume:

— Condiţii de contractare a energiei electrice;

— Proiectarea instalaţiilor electrice de utilizare şi condiţiile privind executarea şi racordarea acestor instalaţii la reţelele furnizorului;

— Contractarea lucrărilor pentru executarea branşamentelor;

— Instalarea aparatelor pentru măsurarea energiei electrice;

— Racordarea şi controlul tehnic al instalaţiilor electrice ale consumatorilor;

— Exploatarea instalaţiilor electrice de alimentare ale furnizorului şi de utilizare ale consumatorilor;

— Obligaţiile furnizorului privind alimentarea consumatorilor cu energie electrică şi condiţiile de întrerupere şi limitare a consumului;

— Prevederi speciale privind consumatorii care au instalaţii proprii de producere de energie electrică.

Partea a IV-a (art. 186—265) conţine condiţiile pentru plata furnizării energiei electrice, tratează condiţiile şi modul de aplicare a diferitelor categorii de tarife în vigoare, penalizările ce se aplică consumatorilor pentru depăşirea puterilor aprobate în orele de vîrf, scara majorărilor şi reducerilor de tarife în funcţie de valoarea medie a factorului de putere realizat de marii consumatori, precum şi modul de prezentare şi achitare a facturilor pentru energia electrică.

Această parte este grupată în patru capitole, astfel:

— Tarifarea energiei electrice furnizate de întreprinderile furnizoare de energie electrică: tarife pe tranşe pentru iluminat şi utilizări casnice, tarife monome, tarife binome, tarife speciale, tarife în paušal etc.;

— Tarifarea energiei electrice furnizate de consumatori subconsumatorilor lor. Se arată cum se face tarifarea energiei electrice în asemenea cazuri, funcţie de tariful plătit de consumator întreprinderii furnizoare de energie electrică;

— Tarifarea energiei electrice livrată de consumator în reţelele furnizorului. Se precizează condiţiile de măsurare a energiei electrice şi nivelul de tarifare atît pentru energia electrică activă, cît şi pentru cea reactivă;

— Prezentarea şi achitarea facturilor pentru energia electrică. Se arată perioadele de facturare şi clauzele pentru aplicarea de penalizări pentru întîrzieri, precum şi cazurile cînd facturile sînt recalculate ca urmare a unor erori de citire la contoare.

Partea a V-a (art. 266—274) cuprinde modul de control al instalaţiilor electrice ale consumatorilor de toate categoriile,

precum și drepturile de control ale Inspecției Generale Energetice, inspecțiilor regionale energetice și a întreprinderilor furnizoare de energie electrică. Totodată se precizează cazurile în care se poate trece la întreruperea furnizării de energie electrică la consumatori, precum și cele în care se pot aplica amenzi pentru anumite contravenții constatate de organele de control respective.

Partea a VI-a (art. 275—291) cuprinde prevederile referitoare la autorizarea, drepturile și obligațiile electricienilor autorizați de a executa instalații electrice la consumatori.

După ce se definește ce este electricianul autorizat, se arată care sînt condițiile minime de studii și de pregătire profesională ale acestora, cum se obține autorizația după trecerea unui examen pentru verificarea cunoștințelor acestora privind normativele și regulamentele în vigoare. În funcție de rezultatele obținute se eliberează autorizația de instalator, care este de cinci tipuri (grade). Autorizațiile eliberate sînt provizorii timp de 2 ani, după care electricianul autorizat se prezintă la un examen de definitivare a autorizației. În continuare, se arată și cazurile cînd autorizațiile pot fi suspendate temporar sau definitiv.

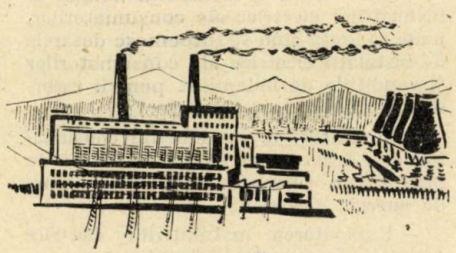
În afara celor expuse mai sus, prin aceeași Hotărîre a Consiliului de Miniștri s-a aprobat și publicarea listei complete a tarifelor pentru energia electrică, atît a celor intrate în vigoare de la 1 ianuarie 1963 și aprobate prin H.C.M. nr. 1279/1962, cît și a tarifelor care s-au aprobat ulterior, în perioada 1963—1968.

Astfel s-au reunit într-un singur act normativ toate dispozițiile legale privind raporturile dintre furnizorul și consumatorul de energie electrică, abrogîndu-se în același timp, toate actele normative care tratau separat, sau parțial, asemenea probleme.

În acest fel, toți cei interesați, din întreprinderi, ministere și organe centrale, inclusiv consumatorii pentru iluminat și utilizări casnice, au la dispoziție acest nou act normativ, care are o deosebită importanță, stabilind în mod mai concret raporturile și condițiile în care energia electrică se furnizează și se utilizează de către toate categoriile de consumatori.

Totodată, în conformitate cu prevederile art. 9 din Hotărîrea Consiliului de Miniștri, prin care se aprobă regulamentul pentru furnizarea și utilizarea energiei electrice, Ministerul Energiei Electrice a fost autorizat de a emite și instrucțiuni de completare a acestui regulament, astfel ca aplicarea să se facă în spiritul în care a fost conceput, pentru a da rezultate optime în activitatea de furnizare și de utilizare a energiei electrice din țara noastră.

Ing. **George Panaiteseu**



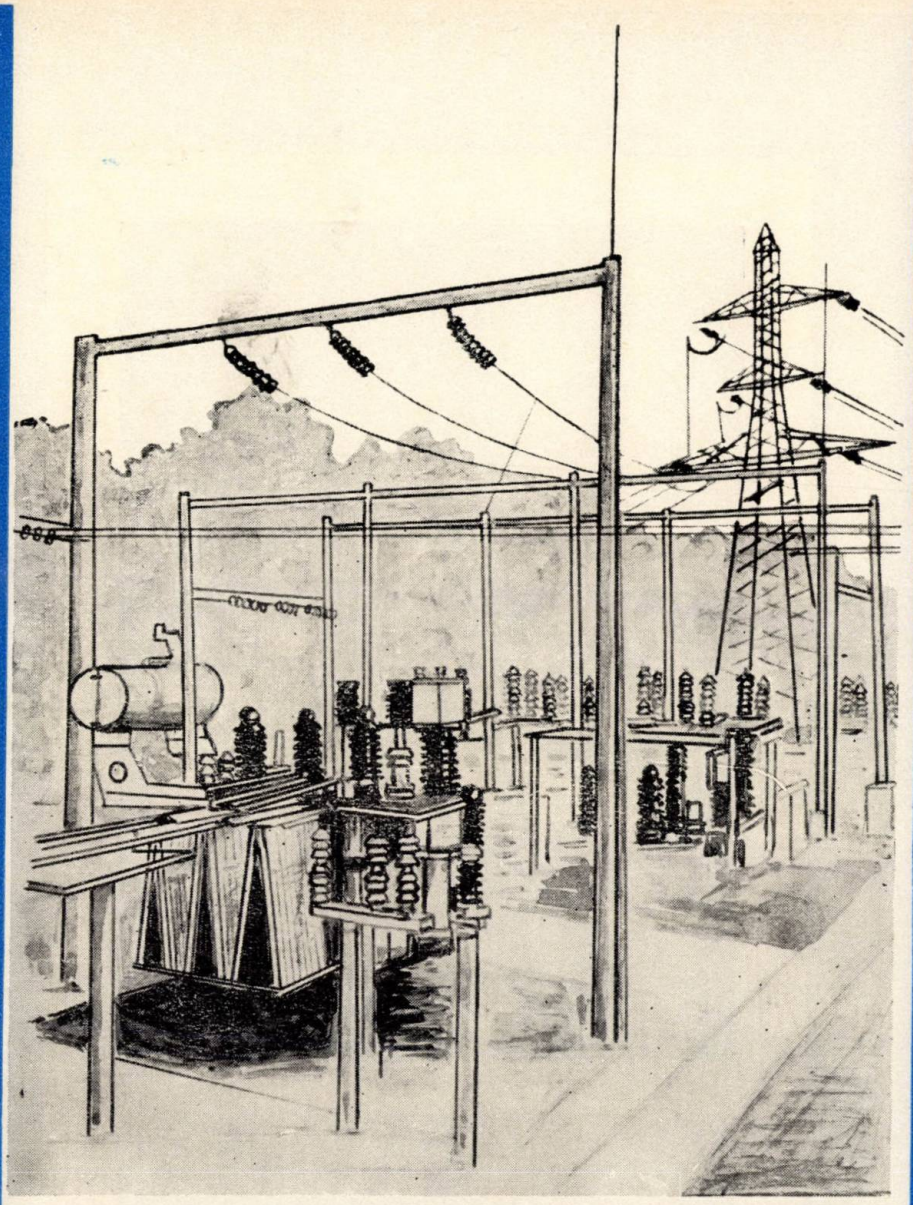
Revista „ENERGETICA", organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R. S. România (CNIT). Redacția: București, Str. Galați nr. 5—7, Sector 2, Telefon 13.92.00. **Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament: nr. 40010100 B.N.R.S.R. — Sectorul VI. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni și ingineri lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5. —Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București — c. 3345**

Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10/1095, 1967

41401

MŰSZAKI DOKUMENTÁCIÓS FŐOSZTÁLY 1883

IREM BAIA MARE

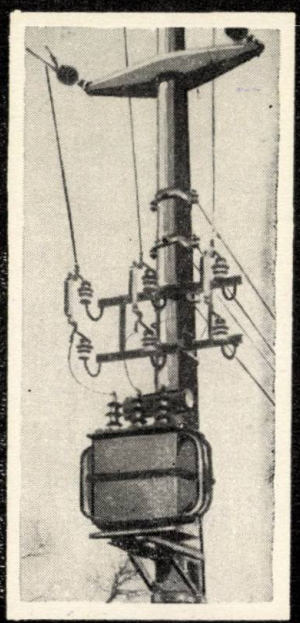


BAIA MARE STR VICTORIEI Nr 64

produce, transportă și distribuie energie elec trică în rețele de înaltă, medie și joasă tensiune proiectează, execută și exploatează

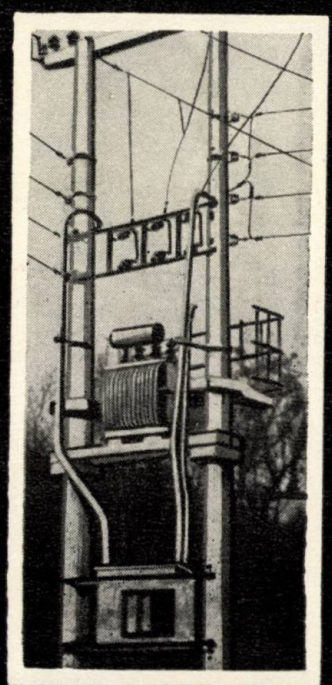
- instalații de producere transport și dis- tribuție a energiei electrice

IREM



Sibiu

INTREPRINDEREA DE ELECTRICITATE
SIBIU - STRADA UZINEI NR. 7



construieşte :

- linii electrice aeriene şi subterane de joasă tensiune
- linii electrice de înaltă tensiune şi posturi de transformare pentru electrificări rurale

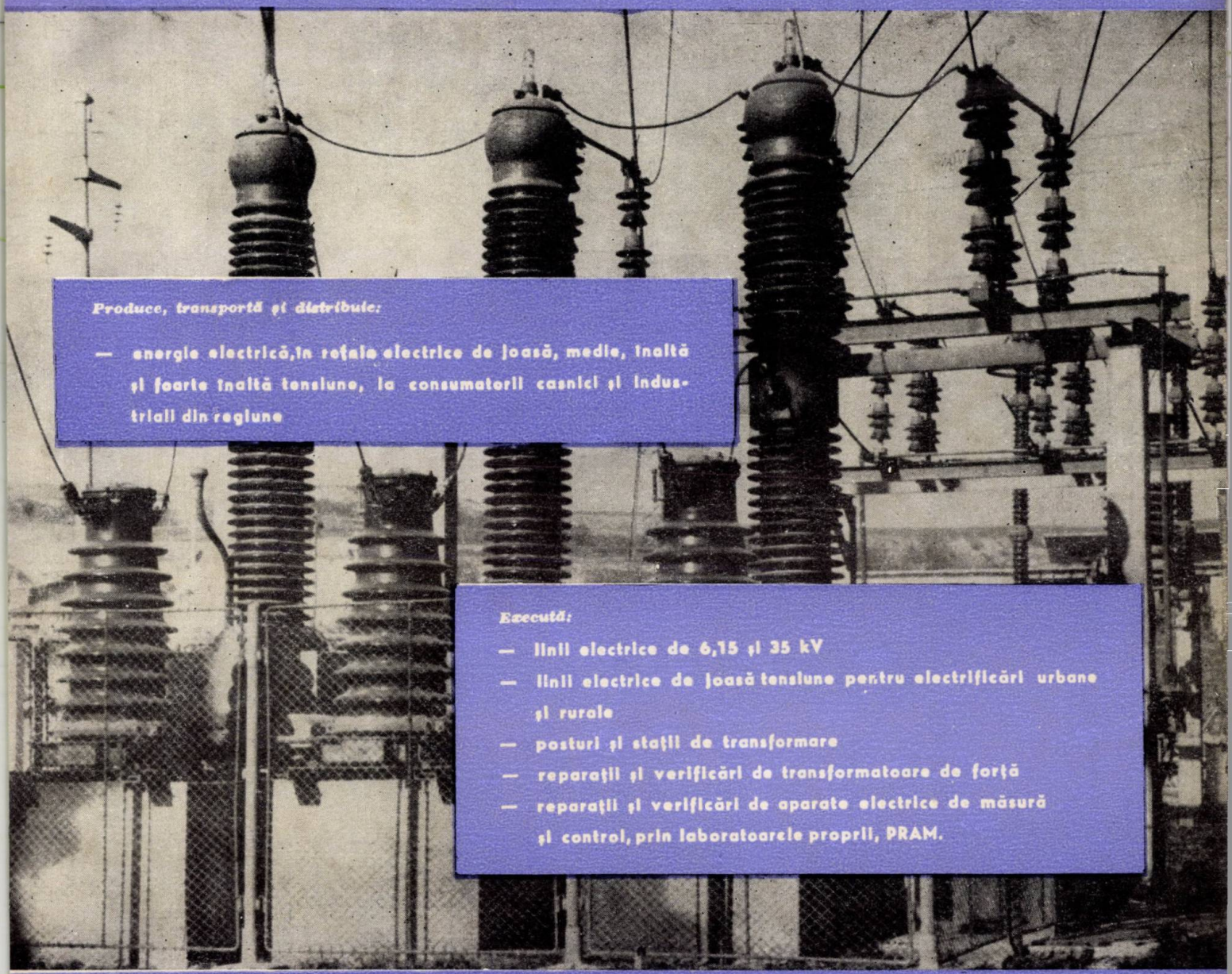
execută :

- branşamente şi instalaţii electrice interioare de lumină şi forţă

repară :

- instalaţii electrice de lumină şi forţă la abonaţii din mediul rural

I.R.E. OLTENIA



Produce, transportă şi distribuie:

— energie electrică, în reţele electrice de joasă, medie, înaltă şi foarte înaltă tensiune, la consumatorii casnici şi industriali din regiune

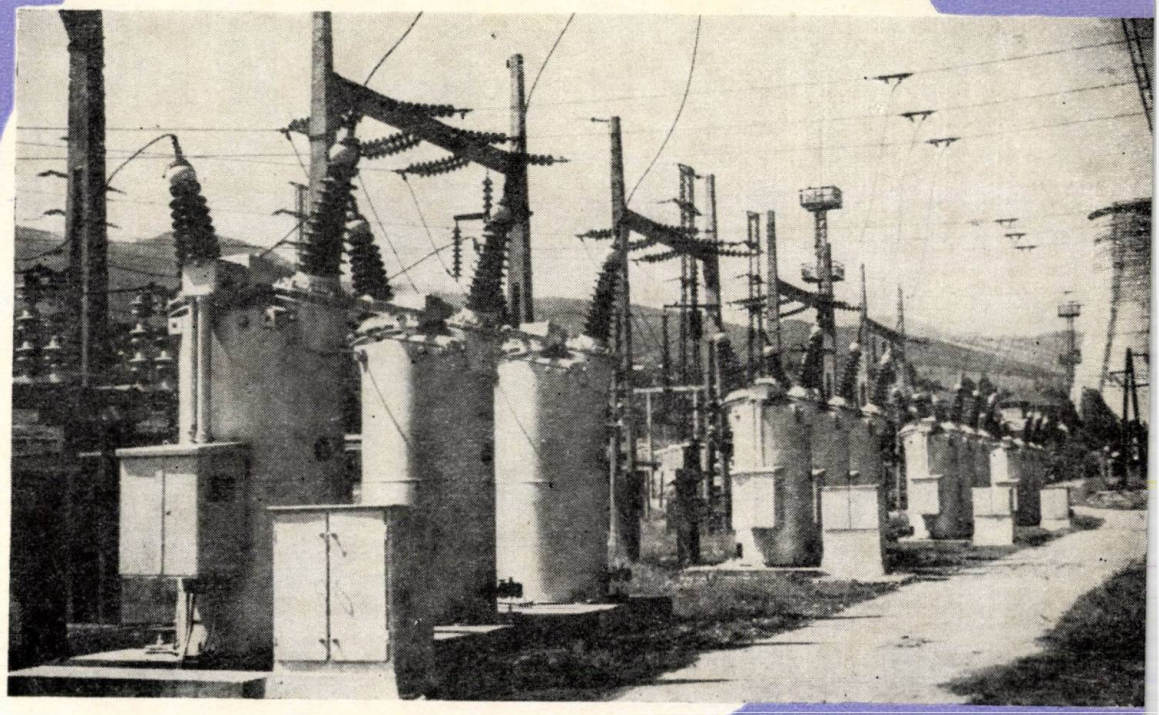
Execută:

— linii electrice de 6,15 şi 35 kV
— linii electrice de joasă tensiune pentru electrificări urbane şi rurale
— posturi şi staţii de transformare
— reparaţii şi verificări de transformatoare de forţă
— reparaţii şi verificări de aparate electrice de măsură şi control, prin laboratoarele proprii, PRAM.

Întocmeşte:

— studii tehnico-economice pentru lucrări noi şi îmbunătăţirea instalaţiilor existente
— proiecte de execuţie pentru linii aeriene şi subterane, posturi şi staţii de transformare, instalaţii de iluminat exterior

IRE



INTREPRINDEREA ELECTROCENTRALE PAROȘENI

● produce și furnizează sistemului energetic național energie electrică

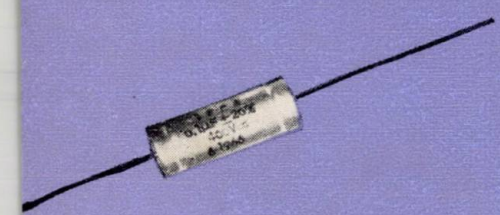
IEC Paroșeni este înzestrată cu instalații și utilaje la nivelul tehnicii mondiale avansate, producînd și furnizînd energie electrică în condiții tehnice superioare.

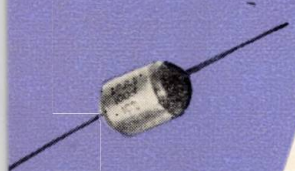
ÎNTREPRINDEREA PIESE RADIO ŞI SEMICONDUCTORI
-BANEASA-

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, sector 2, telefon 33.38.30, Telex 011203

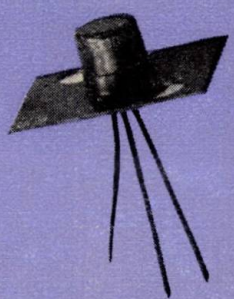
PIESE RADIO

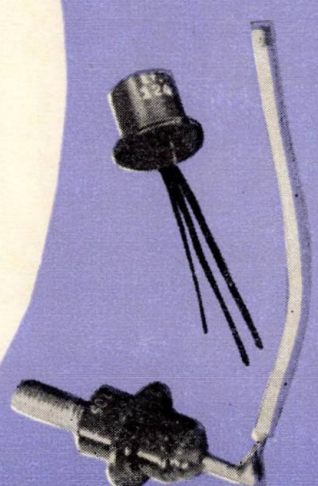
- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare hîrtie-uz general-
- Condensatoare hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate





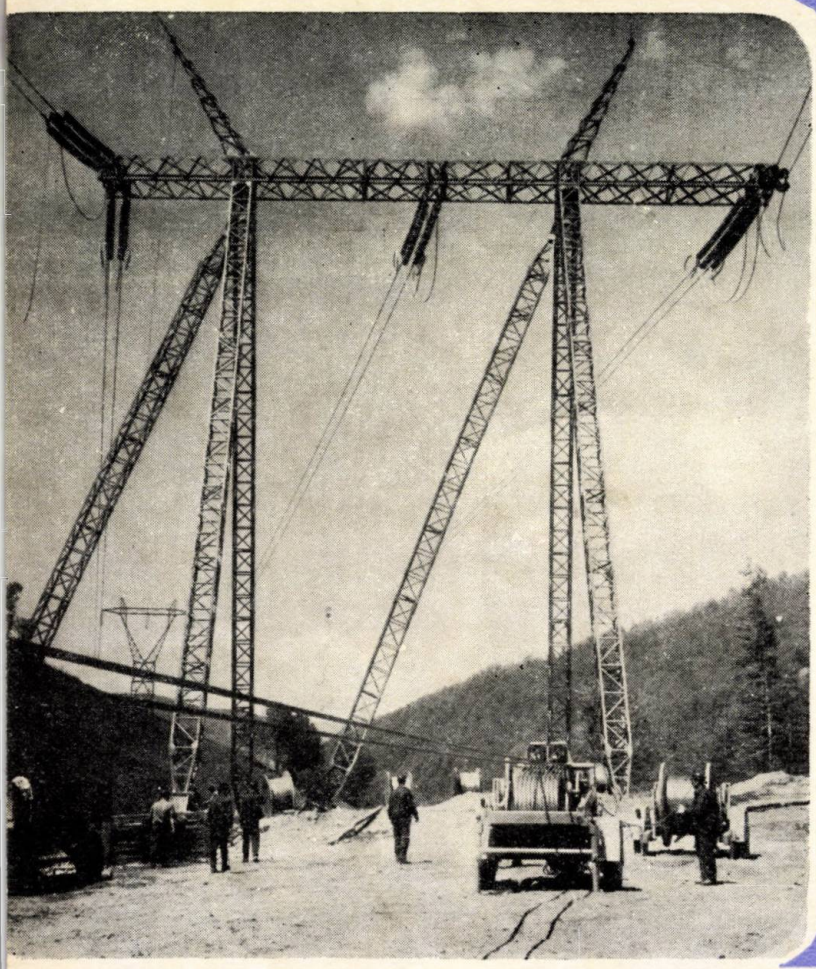
Pentru informaţii suplimentare consultaţi cataloagele noastre





DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

- Tranzistoare cu germaniu, de joasă frecvenţă
  - — de mică putere
  - — de medie putere
- Tranzistoare cu germaniu de înaltă frecvenţă
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere



Trustul Electromontaj

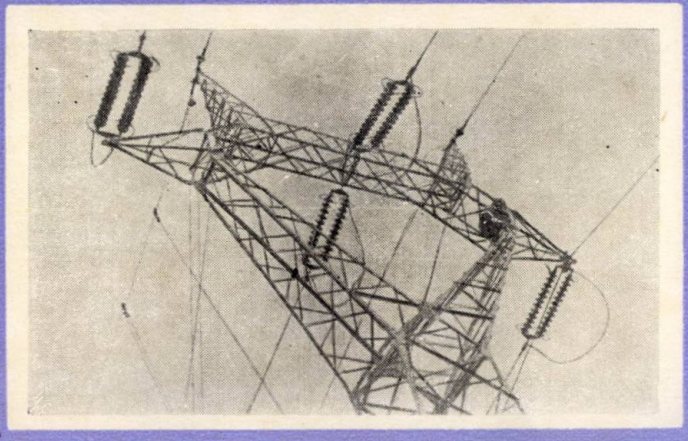
BUCUREȘTI, CALEA MOȘILOR 158 – TELEFON 16.63.30

Execută prin unitățile sale de construcții:

- Stații electrice și posturi de transformare
- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție
- Electrificări rurale

Produce prin unitățile sale industriale:

- Stîlpi metalici
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat, pretensionați
- Celule și panouri pentru centrale și stații electrice
- Posturi de transformare urbane și rurale complet prefabricate
- Diverse prefabricate pentru centrale electrice, stații, posturi de transformare și linii electrice de transport și distribuție



IRE

BACĂU

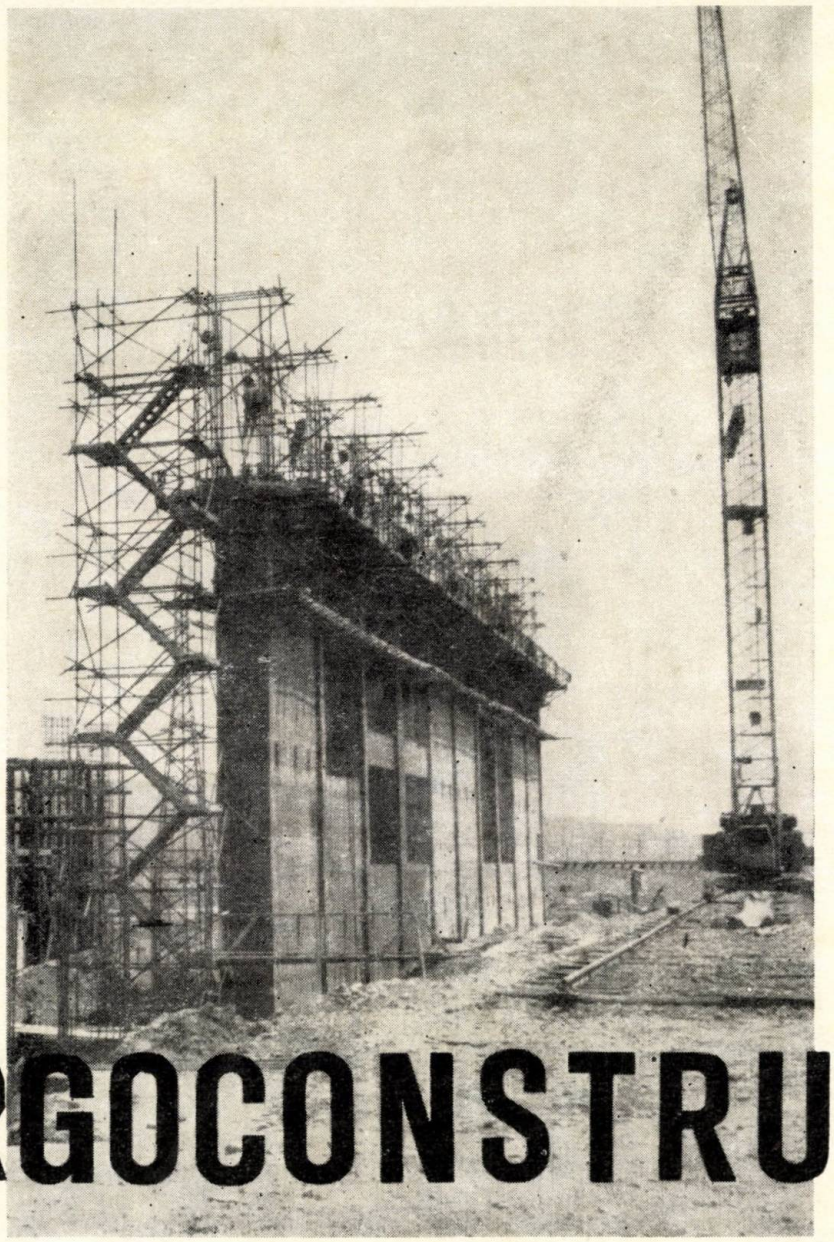
- Transportă și distribuie energie electrică prin rețelele sale, alimentate din sistemul energetic național, asigurînd tuturor consumatorilor de energie electrică o bună deservire.
- Proiectează rețele, stații și posturi de transformare. instalații interioare în mediul urban și rural.
- Execută rețele și posturi de transformare,

Execută reparații:

- la transformatoare de forță și măsură cu puteri pînă la 40 MVA și tensiuni pînă la 110 kV;
- la întrerupătoare și separatoare pentru toate tensiunile

Execută lucrări mecanice:

- de confecții metalice pentru linii electrice aeriene;
- de scule și dispozitive specifice lucrărilor energetice



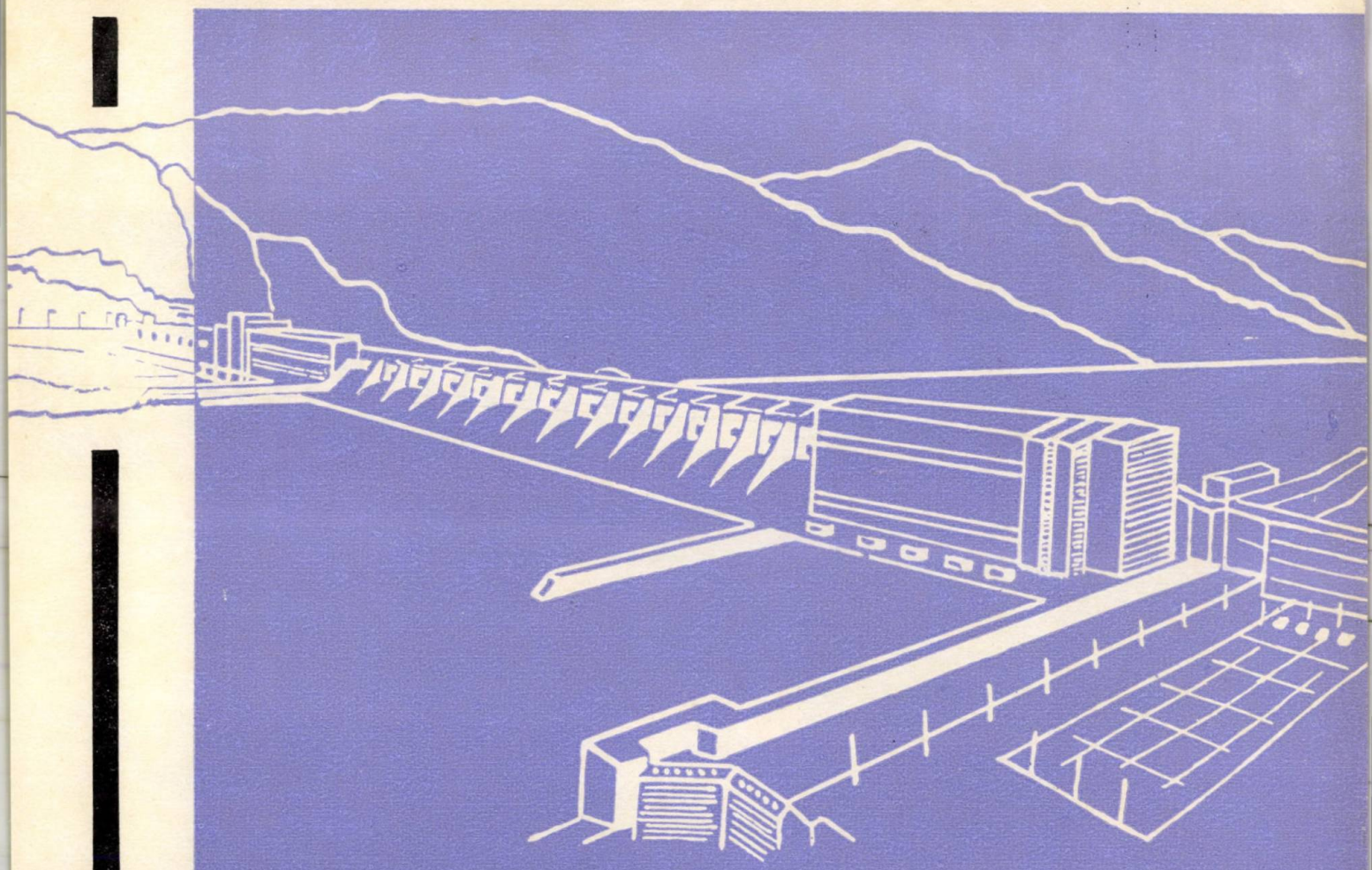
ENERGOCONSTRUCȚIA

Execută lucrări de construcții energetice:

- Centrale termoelectrice
- Termoficări urbane și industriale
- Construcții hidrotehnice aferente centralelor termoelectrice
- Stații de transformare de 110, 220, 400 kV

- *Lucrări speciale:*

— coșuri de fum prin glisare, cu înălțimi pînă la 250 m;
— turnuri de răcire tiraj natural și tiraj forțat
— montaje de prefabricate grele din beton armat;
— construcții metalice;
— glisări de structuri spațiale și plane din beton armat;
— instalații electrice de joasă tensiune;
— instalații sanitare;
— alimentări cu apă și canalizări;
— izolații anticorosive la betoane etc.



Execută lucrări de:

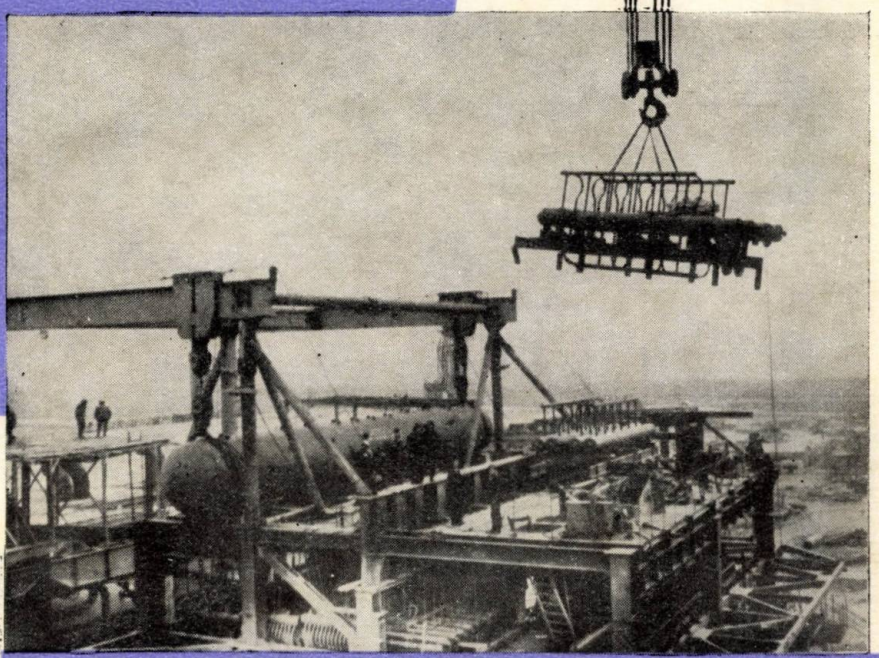
- Baraje de toate genurile
- Centrale hidroelectrice subterane și de suprafață
- Tuneluri și galerii hidrotehnice
- Canale și diguri
- Amenajări pentru alimentarea cu apă a marilor industrii

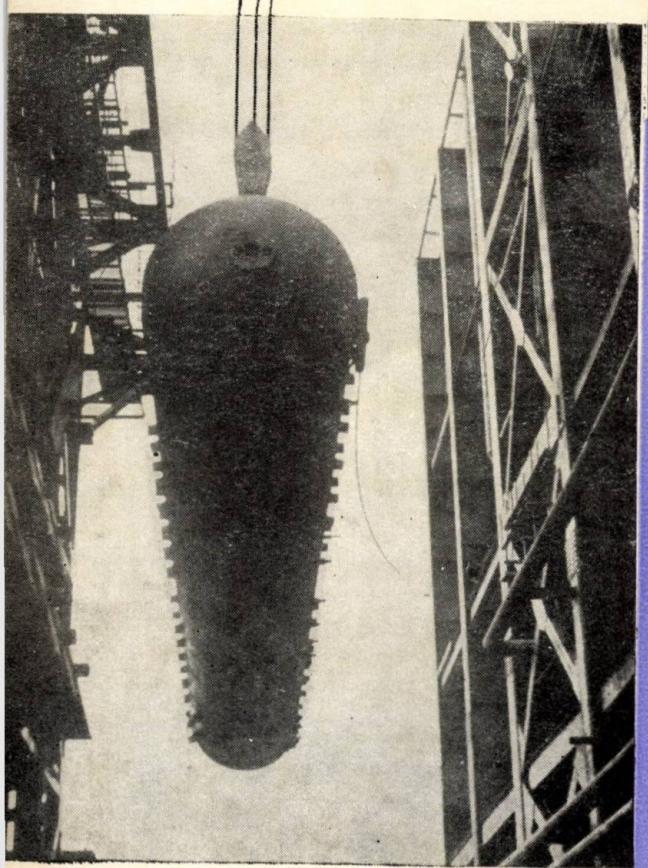
I. C. H. — București, str. Dimitrie Onciu nr. 23—25, telefon 36.54.70, telex INCOHIDROEN București 244

ICH

BUCUREȘTI

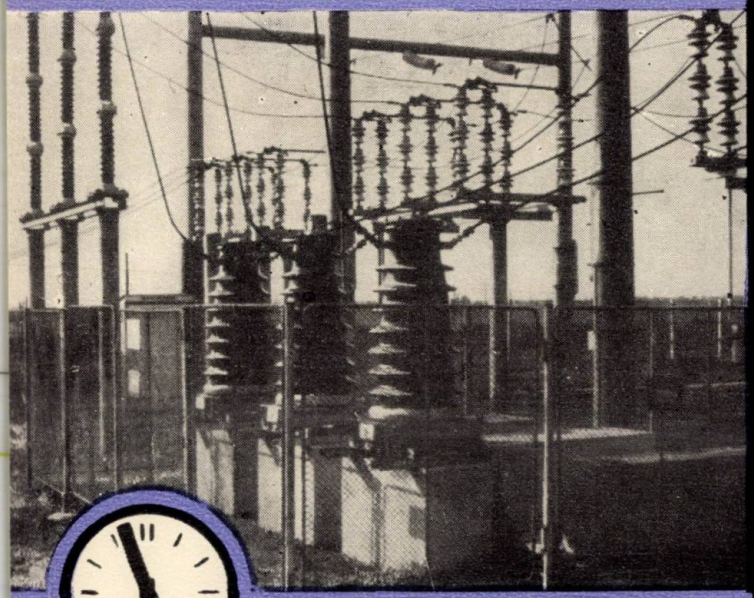
INTREPRINDEREA Energomontaj





Execută lucrări de montaj:

- Cazane de abur cu parametri ridicați:
  - — 500 t abur/h, 215 at, 514°C
  - — 640 t abur/h, 140 at, 570°C
- Turbine cu abur de la 6 MW la 315 MW
- Turbine cu gaze
- Turbine hidraulice de la 5,5 MW la 170 MW
- Compensatoare sincrone
- Instalații termomecanice auxiliare ale centralelor termoelectrice și echipament hidromecanic
- Instalații electrice de joasă, înaltă și foarte înaltă tensiune
- Instalații de măsură, control și automatizare

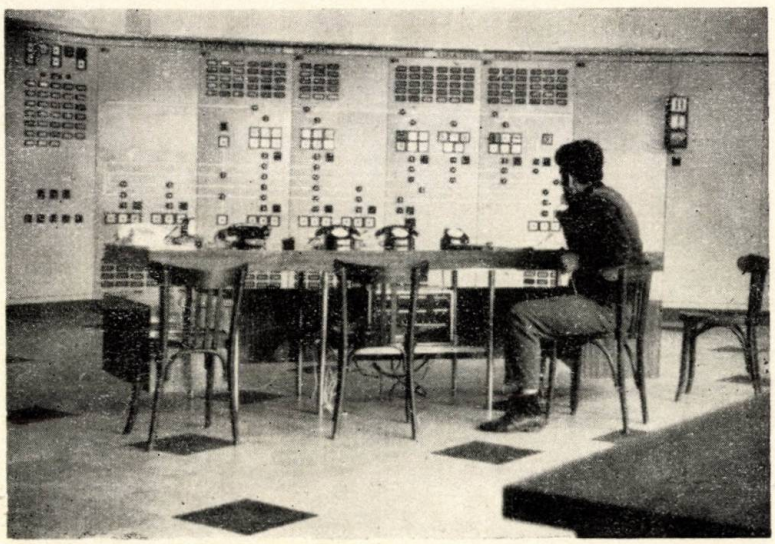


ziua și noaptea

IDEB

asigură alimentarea cu ener
gie electrică a consumatori
lor de toate categoriile din
Capitală

I.R.E. ARGEȘ



I.R.E. Argeș, prin instalațiile sale cu un înalt grad de tehnicitate asigură în bune condițiuni alimentarea cu energie electrică a tuturor consumatorilor săi.

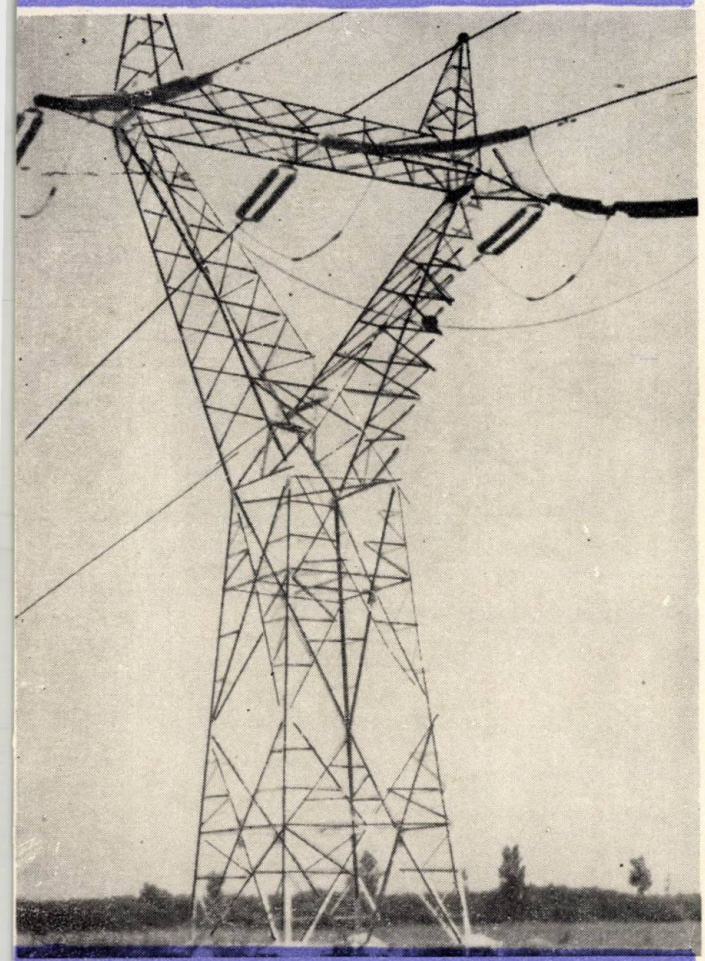
Prin unitatea sa de proiectare asigură documentațiile pentru linii, stații și posturi trafo de 110 kV, 20 kV și 6 kV, electrificări rurale.

Prin unitatea sa de construcții-montaj execută lucrări de electrificare.

Prin loturile de instalații interioare, execută instalații interioare la unitățile socialiste și la abonații particulari.

MŰSZAKI EGYETEM

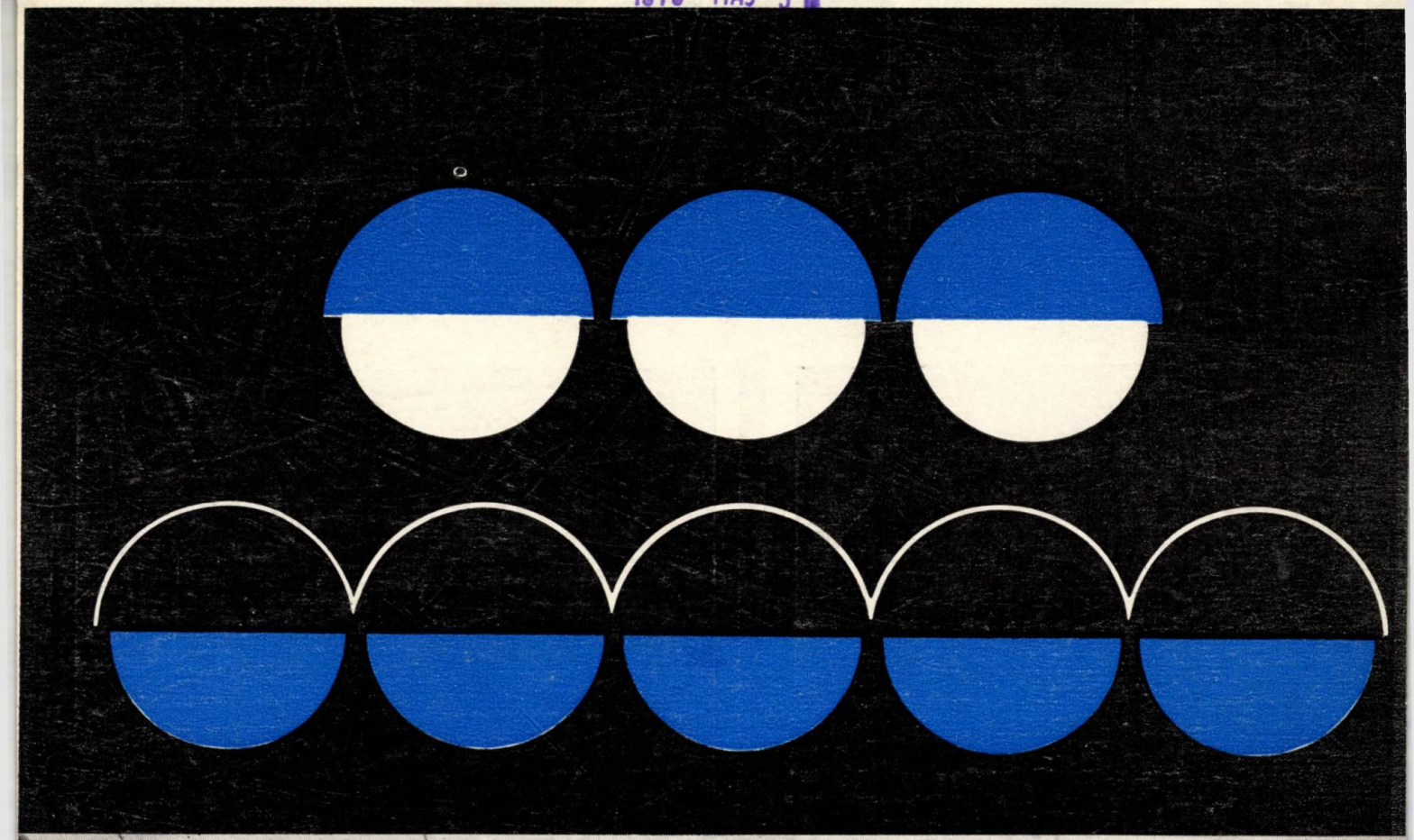
I.R.E. BANAT
TIMIŞOARA



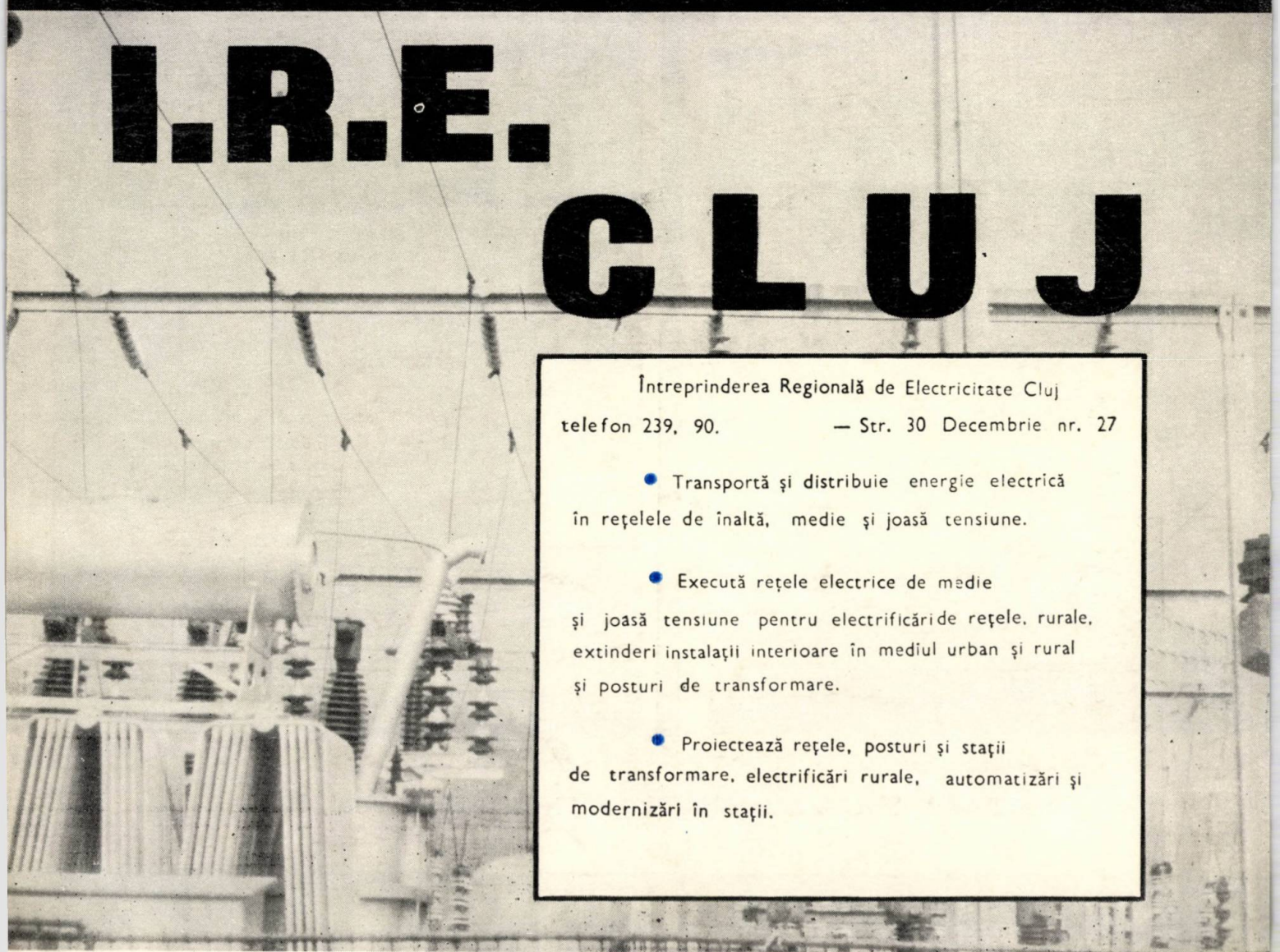
- asigură transportul şi distribuirea continuă a energiei electrice prin reţelele sale de înaltă, medie şi joasă tensiune, pentru toţi consumatorii;
- proiectează, execută, întreţine şi exploatează instalaţii de transport şi distribuţie a energiei electrice;
- execută lucrări de instalaţii electrice interioare pentru unităţi socialiste în mediul urban şi rural.
- execută cu unităţile proprii încercări profilactice la aparatajul electric şi verificări de protecţii prin relee;
- pregăteşte cadre pentru sectorul energetic;

TIMIŞOARA, PIAŢA ROMANILOR nr. 11—tel. 11180, 11181, 11182

1970 MAJ 3



I.R.E. CLUJ



Întreprinderea Regională de Electricitate Cluj

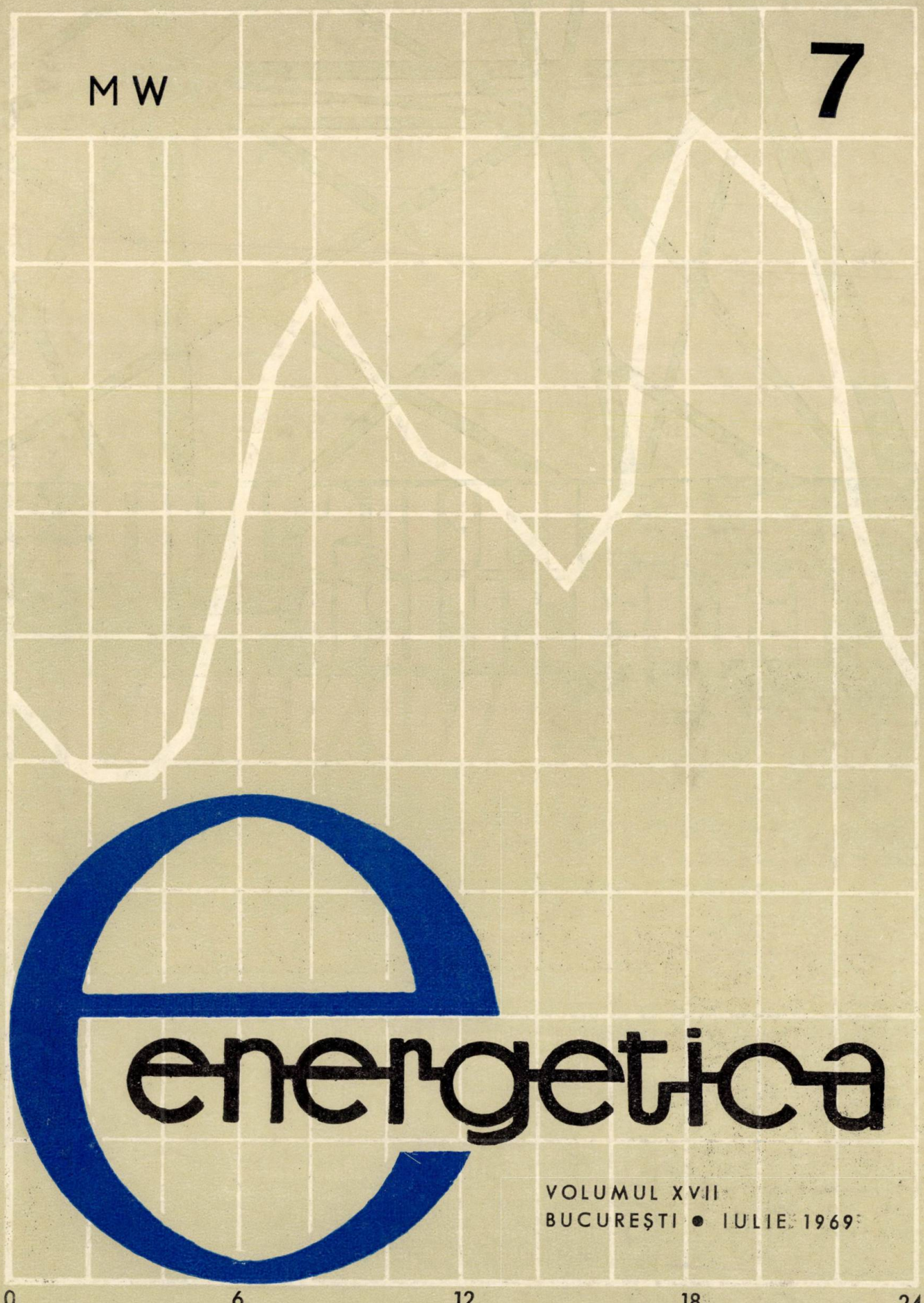
telefon 239, 90. — Str. 30 Decembrie nr. 27

- Transportă și distribuie energie electrică în rețelele de înaltă, medie și joasă tensiune.

- Execută rețele electrice de medie și joasă tensiune pentru electrificări de rețele, rurale, extinderi instalații interioare în mediul urban și rural și posturi de transformare.

- Proiectează rețele, posturi și stații de transformare, electrificări rurale, automatizări și modernizări în stații.

E 2039



energetica

VOLUMUL XVII
BUCUREŞTI • IULIE 1969

TRUSTUL ELECTRO-MONTAJ

Execută prin unităţile sale de construcţii:

- staţii electrice şi posturi de transformare
- linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- linii electrice de distribuţie
- electrificări rurale

Produce prin unităţile sale industriale:

- stîlpi metalici
- stîlpi din beton armat centrifugat sau vibrat
- stîlpi din beton armat centrifugat sau vibrat, pretensionaţi
- celule şi panouri pentru centrale şi staţii electrice
- posturi de transformare urbane şi rurale complet prefabricate
- diverse prefabricate pentru centrale electrice, staţii, posturi de transformare şi linii electrice de transport şi distribuţie

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 17 nr. 7 IULIE

Cuprinsul

Stroe Gabriela	**Dimensionarea clapetelor de reglare a debitului de gaze**	313—319
Vilan, M. şi *Iftime, P.*	**Aspecte privind comportarea în exploatare a materialului conductei forţate de la CHE Moroeni**	319—331
Staicu, I.C. şi *Mitroi, A. A.*	**Siguranţa în exploatare a unui sistem energetic (II). Acoperirea puterii probabil avariate cu rezerva de putere pentru preluarea avariei**	332—335
Mihai, I. şi *Costin, E.*	**Metodă informaţională pentru colectarea, stocarea şi utilizarea caracteristicilor statistice ale incidentelor de exploatare din sistemul energetic**	335—340
Rothman, A.	**Introducere aplicativă privind metoda de rezolvare a reţelelor electrice cu ajutorul reţelelor ortogonale**	340—344

ORGANIZAREA ŞTIINŢIFICĂ A PRODUCŢIEI ÎN SECTORUL ENERGETIC

Bîrsănescu, V.	**Decizii în condiţii de certitudine. Algoritmul lui Flood**	344—349

ENERGETICA PESTE HOTARE

Focşa, Vl. şi *Căciulescu, Şt.*	**Baraje în Iran**	349—357

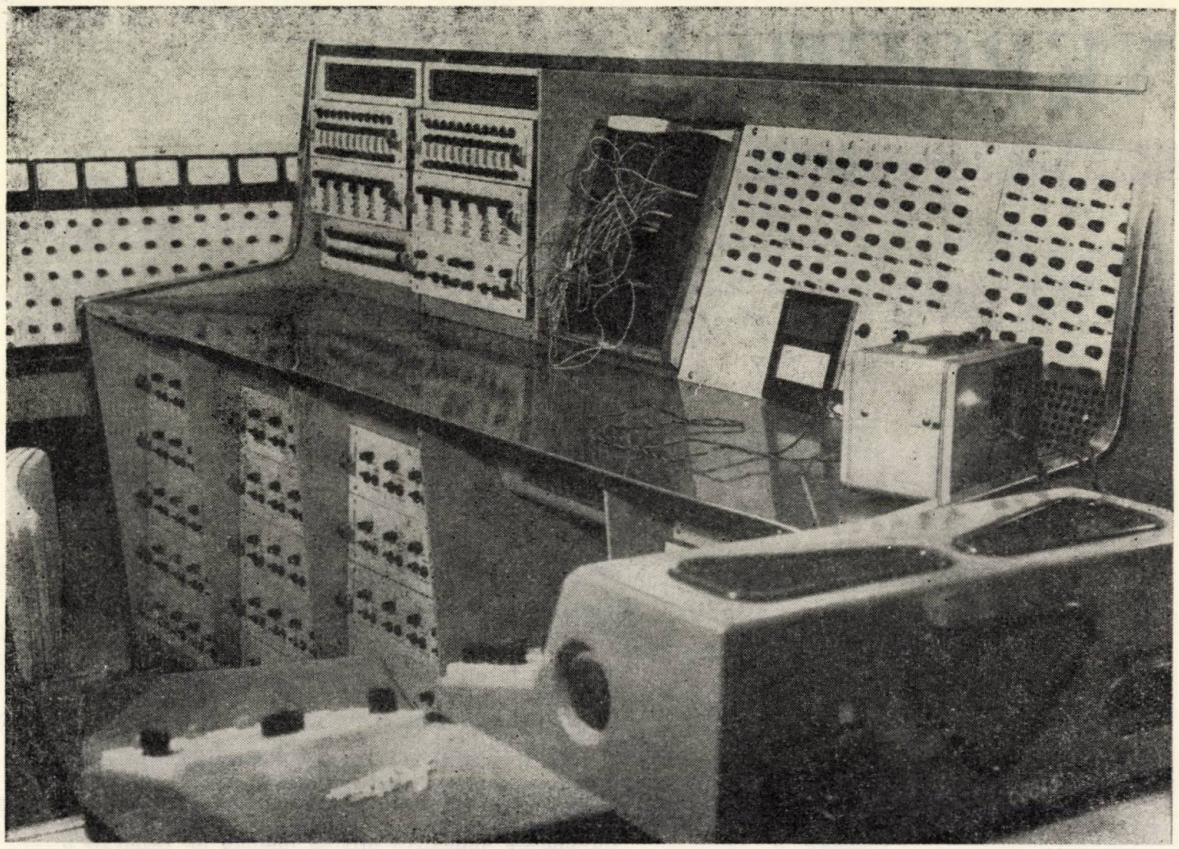
CRONICĂ

RECENZII

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, conf. ing. E. CONSTANTINESCU, ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, conf. ing. V. NITU, ing. A. SPÎNU

OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE



Centrul de calcul IRME

efectuează:

1 — Studii privind introducerea metodelor matematice de calcul moderne şi pentru folosirea calculatoarelor electronice în activitatea compartimentelor tehnice, tehnico-economice şi economice din cadrul întreprinderii şi a unităţilor din cadrul sectorului energetic :

2 — Programe de calcul la calculatoarele electronice, pentru diverse domenii de activitate ca de exemplu :

- — calcule de regimuri electrice pentru exploatare ;
- — calcule de consumuri specifice şi de randament ;
- — calcule pentru automatizări electrice şi termice ;
- — calcule de supratensiuni ;
- — calcule de repartiţie optimă a puterilor şi frecvenţei ;
- — calcul din domeniul hidroenergetic (calculul debitelor, prognozele hidro) etc. ;

3 — Introducerea şi extinderea în cadrul întreprinderii şi a unităţilor energetice a problemelor de informatică şi de cercetări operaţionale ca :

- — stabilirea de fluxuri informaţionale ;
- — codificări de informaţii ;
- — normative unificate de personal din sectorul de exploatare ;
- — probleme de stocuri şi de fire de aşteptare ;
- — probleme de programare lineară şi dinamică ;
- — probleme de determinare a drumurilor critice prin metoda grafurilor ;
- — evidenţa operaţiilor economice etc.

4 — Stabilirea algoritmelor şi programelor de calcul, sau acordă asistenţă tehnică pentru întocmirea de programe de calcul, la calculatoarele electronice din dotarea unităţilor de exploatare din cadrul M. E. E.

5 — Introducerea calculatoarelor electronice de proces în exploatarea instalaţiilor energetice, efectuînd în acest sens studii corespunzătoare.

SOMMAIRE

CD 621.311.2 :662.76.001.2

Stroe, G. : **Le dimensionnement des clapets de régulation du débit du gaz**

L'article contient un calcul dynamique de la variation du débit de combustible et un nomogramme utile pour déterminer la section des clapets.

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 313–319

CD 627.84.004.6

Vilan, M. et *Iftime, P.* : **Le comportement dans l'exploitation du matériau utilisé pour la conduite forcée de la centrale hydroélectrique de Moroeni**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 319–331

CD 621.316.161.004

Staicu, I. C. et *Mitroi, A.* : **La sûreté dans l'exploitation d'un réseau électrique (II). La réserve de puissance en cas de défaut couvre la puissance problement en défaut**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 332–335

CD 621.311.16.004.6

Mihai, I. et *Costin, Em.* : **Une méthode informationnelle pour collecter, stocker et utiliser les données statistiques des incidents d'exploitation dans le réseau électrique**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 335–340

CD 621.311.16.001.24

Rothman, A. : **Introduction applicative de la méthode de calcul des réseau électriques à l'aide des systèmes orthogonaux**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 340–344

CD 621.311.16.008

Bîrsănescu, V. : **Décisions en cas de certitude**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 344–349

CD 627.8(55)

L'ENERGETIQUE A L'ETRANGER

Focşa, Vl. et *Căciulescu, St.* : **Barrages en Iran**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 349–357

CONTENTS

DC 621.311.2 : 662.76.001.2

Stroe, G. : **The sizing of gas flow control valves**

Here is a dynamic calculation of fuel flow variation accompanied by a nomogram to be used for the calculation of valve sections.

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 313–319

DC 627.84.004.6

Vilan, M. and *Iftime, P.* : **Some aspects of the behaviour during operation of the material used for the penstock at Moroeni hydroelectric power station**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 319–331

DC 621.316.161.004

Staicu, I. C. and *Mitroi, A.* : **The operating safety of a power system (II). Stand-by power reserve covering power probably under failure**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 332–335

DC 621.311.16.004.6

Mihai, I. and *Costin, Em.* : **An informational method for the collection, storage and utilization of statistical data about operational incidents in the power system**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 335–340

DC 621.311.16.001.24

Rothman, A. : **An applicative introduction to the method of power systems calculation by means of orthogonal networks**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 340–344

DC 621.311.16.008

Bîrsănescu, V. : **Decision-making in conditions of certainty**

Energetica 17 (1969), nr. 7, p. 344–349

DC 627,8(55)

ENERGETICS ABROAD

Focşa, Vl. and Căciulescu, St. : **Dams in Iran**

Energetica 17 (1997), nr. 7, p. 349–357

СОДЕРЖАНИЕ

ДК 621.311.2 : 662.76.001.2

Строе, Г.: **Определение размеров регулирующих заслонок расхода газов**

Представляет интересный динамический расчёт вариации расхода топлива и даётся номограмма для определения разреза заслонок

Energetica 17 (1969), No. 7, стр. 313–319

ДК 627.84.004.6

Вилан, М. и *Ифтиме, П.:* **Аспекты поведения при эксплуатации материала напорного трубопровода на ГЭС-Мороени**

Energetica 17 (1969), No. 7, стр. 319–331

ДК 621.316.161.004

Стайку, И. К, и *Митрой, А:* **Надёжность эксплуатации энергетической системы.**

Energetica 17 (1969), No. 7, стр. 332–335

ДК 621.311.16.004.6

Михай, И. и *Костин, Е.:* **Информационный метод сбора, хранения накопления и использования статистических характеристик инцедентов эксплуатации в энергетической системе.**

Energetica 17 (1969), No. 7, стр. 335–340

ДК 621.311.16.001.24

Ротман, А.: **Наглядное введение в расчёты электрических сетей методом восьмиугольников**

Energetica 17 (1969), No. 7, стр. 340–344

ДК 621.311.16.008

Бэрсэнеску, В.: **Решения в условии уверенности**

Energetica 17(1969), No. 7, стр. 344–349

ЕНЕРГЕТИКА ЗА РУБЕЖОМ

ДК 627.8(55)

Фокша, Вл. и Кэчулеску, Шт. — **Плотины в Иране**

Energetica 17 (1969), No. 7, стр. 349–357

INHALTSVERZEICHNIS

DK 621.311.2 : 662.76.001.2

Stroe, G.: **Bemessung von Vorrichtungen für Mengenregelung von Gasströmen**

Es wird dynamisches Verfahren zur Berechnung von Gasdurchflussmengen erörtert und ein Nommogramm für Ermittlung der Klappenöffnungen angegeben.

Energetica 17 (1969), H. 7, S. 313–319

DK 627.84.004.6

Vilan, M. und *Iftime, P.:* **Über das Betriebsverhalten des Rohrwerkstoffs der Druckleitung vom Wasserkraftwerk Moroeni**

Energetica 17 (1969), H. 7, S. 319–331

DK 621.316.161.004

Staicu, I.C. und *Mitroi, A.:* **Betriebssicherheit von Verbundnetzen (II). Deckung der wahrscheinlich gestörter Leistung mit Hilfe der für Beseitigung von Störungen bereitgehaltenen Reserveleistung**

Energetica 17 (1969), H. 7, S. 332–335

DK 621.311.16.004.6

Mihai, I. und *Costin, Em.:* **Informationelles Verfahren für Sammlung Aufbewahrung und Verwertung statistischer Merkmale von Betriebsvorfällen in Verbundnetzen**

Energetica 17 (1969), H. 7, S. 335–340

DK 621. 311.16.001.24

Rothman, A.: **Einführung in die Anwendung von Verfahren für Berechnung elektrischer Netze vermittels orthogonaler Netze**

Energetica 17 (1969), H. 7, S. 340–344

DK 621.311.16.008

Bîrsănescu, V.: **Beschlussfassung unter vollkommener Kenntnis des Sachverhalts**

Energetica 17 (1969), H. 7, S. 344–349

ENERGIEWIRSSCHAFT IM AUSLAND

DK 627.8(55)

Focşa, Vl. und Căciulescu, Şt.: **Staudämme in Iran**

Energetica 17 (1969), H. 7, S. 349–357

Dimensionarea clapetelor de reglare a debitului de gaze

Ing. G. Stroe *)

La alegera unui organ de reglare, un rol foarte important îl are caracteristica acestuia, adică dependența între debitul de fluid ce trece prin organul de reglare și cursa ventilului. Această caracteristică trebuie să aibă un astfel de aspect încît, într-un circuit de reglare, amplificarea totală în interiorul circuitului să rămînă constantă pentru toate pozițiile ventilului.

Deoarece căderea de presiune pe organul de reglare reprezintă numai o parte din căderea totală de presiune pe circuit, restul fiind pierderi datorite rezistențelor hidraulice, comportarea debitului pe întregul domeniu de reglaj se abate substanțial de la comportarea pe organul de reglare; de aceea este necesar să se facă distincție între „caracteristica nominală" (caracteristica organului de reglare) și „caracteristica funcțională".

Căderea totală de presiune va fi:

$$\Delta p = \Delta p_R + \Delta p_L, \qquad (1)$$

unde:

Δp_R este căderea de presiune în organul de reglare, iar

Δp_L — căderea de presiune în coturi, armături, conducte.

Se recomandă construirea organului de reglare astfel încît caracteristica funcțională să fie liniară, adică în caracteristica nominală amplificarea să fie foarte mică în domeniul inferior și să crească mereu, o dată cu creșterea cursei, pentru ca să existe o dependență liniară între debit și cursa ventilului pe întreg domeniul de reglare.

Acestor cerințe le corespunde practic foarte bine, pentru organe de reglare a debitului de gaz (p_1 = constant), caracteristica echiprocentuală (logaritmică), la care variația relativă a secțiunii de trecere este proporțională cu deplasarea ventilului, și astfel se compensează neliniaritățile din restul circuitului.

1. Organele de reglare pentru alimentarea cu gaze naturale a cazanelor de abur. Pentru reglarea debitului gazelor naturale la alimentarea cazanelor de abur se folosesc clapetele de tip fluture, circulare, care au o caracteristică nominală echiprocentuală. Folosirea acestui tip de organe de reglaj este justificată și de faptul că au o secțiune de trecere foarte mare, conducînd la pierderi de presiune minime pe clapetă, la orice deschidere a acesteia.

*) Gabriela Stroe este inginer la ICENERG.

Debitul de fluid ce trece prin clapetă este definit de relația:

$$Q = \beta A \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot \Delta p_R}, \qquad (2)$$

unde:

Q este debitul de fluid;

β — coeficient ce înglobează factorii de proporționalitate și coeficientul de debit

A — secțiunea clapetei;

γ — greutatea specifică;

g — accelerația gravitației;

Δp_R — căderea de presiune pe clapetă.

Definind o mărime caracteristică a clapetei, și anume coeficientul de scurgere K_g, cu formula:

$$K_g = \beta \; A \sqrt{2g}, \qquad (3)$$

rezultă debitul:

$$Q = K_g \sqrt{\frac{\Delta p_R}{\gamma}}, \qquad (4)$$

Din formula (4) se poate defini coeficientul de scurgere ca debitul unui fluid cu $\gamma = 1$ kgf/dm^3, care, trecînd printr-un organ de reglare, creează o cădere de presiune de $\Delta p_R = 1$ kgf/cm^2.

De fapt, coeficientul de scurgere nu este o mărime constantă, ci este influențat de căderea de presiune [4], astfel că:

$$K_{g\ real} = K \frac{K_g}{\sqrt{\Delta p_R}}. \qquad (5)$$

Aceasta conduce la o caracteristică de debit funcție de deschiderea clapetei de forma curbei 2 din figura 1.

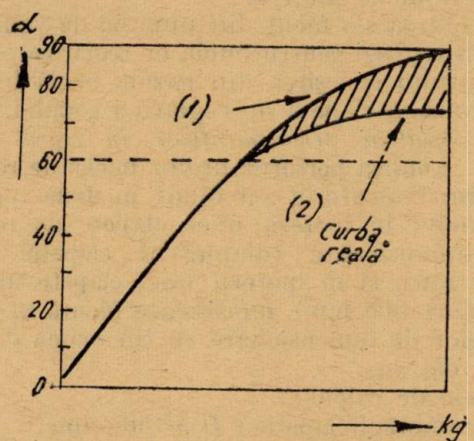


Fig. 1. Curba de variație a coeficientului de scurgere, cu deschiderea clapetei (căderea de presiune pe clapetă).

Din considerentele de mai sus, precum și din faptul că secțiunea maximă de trecere nu se obține la $\varphi_{max} = 90°$, cînd butucul clapetei

obturează o parte din secțiunea de trecere, aceeași ca și la

$$\varphi = \text{arc cos}\frac{d_b}{D}, \qquad (6)$$

unde

d_b este diametrul butucului clapetei (mm) și D — diametrul clapetei (mm).

Dimensionarea clapetei pentru debitul maxim se face, în general, la $\varphi_{max} = 60 - 70°$.

1.1. *Problemele ridicate de dimensionarea incorectă a clapetelor de reglare a gazelor pentru cazanele de abur.* Subdimensionarea clapetelor de reglare (se întîlnește mai rar) conduce la imposibilitatea atingerii parametrilor nominali ai cazanului.

Supradimensionarea clapetelor de reglare (întîlnită la majoritatea cazanelor din centralele termoelectrice din țara noastră) conduce la o calitate proastă a procesului de reglare, cu suprareglare mare, ceea ce generează apariția unor valori instantanee ale mărimii de comandă foarte mari și deci închideri și deschideri bruște, însemnate ale organului de reglare, uneori ajungîndu-se chiar la situații de instabilitate a sistemului de reglare, fapt care perturbează chiar desfășurarea procesului tehnologic.

În cazul suprareglării mari, la închiderea clapetei de reglare poate avea loc o scădere a presiunii gazului natural sub limita de rupere a flacării la arzător, ceea ce poate provoca o explozie în focar. În cazul deschiderii clapetei, o creștere bruscă a presiunii gazului la arzător poate de asemenea provoca stingerea flăcării, cu acumulări de gaz în focar și pericol de explozie.

În cele ce urmează se va expune cercetarea în legătură cu un caz concret de folosire a clapetelor de reglare a gazelor naturale, pentru un cazan de abur de 420 t/h.

Cercetarea s-a făcut din punctul de vedere al calității reglării pentru bucla de reglare a presiunii aburului la ieșirea din cazan, buclă în care funcționează clapeta de reglare a gazului.

1.2. *Analiza performanțelor în regim tranzitoriu.* Analiza performanțelor buclei de reglare în regim tranzitoriu s-a făcut în două ipoteze, și anume: în ipoteza unei clapete de reglare supradimensionate (diametrul clapetei $D = 500$ mm) și în ipoteza unei clapete modificate ($D = 300$ mm), modificare făcută în urma calculelor de dimensionare ce țin seama de cele spuse mai sus.

Datele de calcul:

— diametrul clapetei: $D = 500$ mm;

— debit maxim gaze: $B = 30\,000$ Nm³/h;

— presiunea la intrare la clapetă: $p_1 = 6000$ mm col. H_2O.

Caracteristica nominală (statică) a acestei clapete este dată în figura 2, curba *1*.

Clapeta de reglare a gazelor naturale este organul de execuție inclus în bucla de reglare a presiunii aburului supraîncălzit la ieșirea din cazan.

Considerăm că funcționarea cazanului are loc în regim de sarcină constantă, adică nu

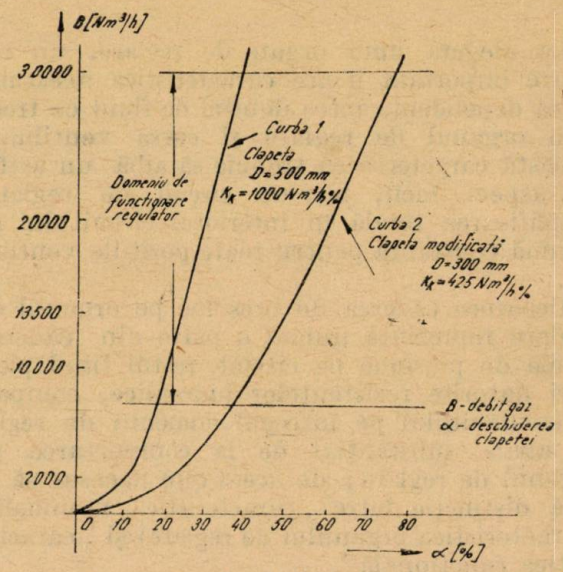


Fig. 2. Clapeta de reglare a debitului de gaze naturale. Caracteristici statice:
B — debitul de gaz; α — deschiderea clapetei (%).

apar perturbații datorită variației debitului de abur cerut de turbină.

Deducerea funcțiilor de transfer ale elementelor buclei de reglare

a) Regulatorul, contactorul magnetic reversibil, servomotorul. Pentru determinarea funcției de transfer a regulatorului, contactorului magnetic și servomotorului, s-a aproximat funcționarea în trepte a servomotorului cu o funcționare continuă. Diagrama „în dinți de ferăstrău pentru variația în timp a mărimii de ieșire din regulatorul tip RPIK, exprimată în durate ale cuplării releului, respectiv contactorului magnetic reversibil, știind că servomotorul funcționează cu viteză constantă, conduce la curba *1* din figura 3.

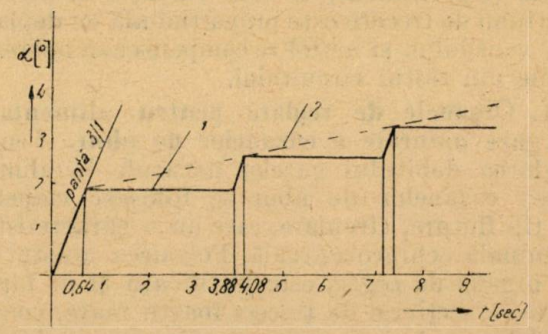


Fig. 3. Curba de variație a mărimii de ieșire din servomotor (unghiul de deschidere a clapetei) în timp, pentru mărimea de intrare în regulator, $U_i = 200$ m V:
1 — curba reală de funcționare; *2* — curba aproximativă.

Variaţia în timp a mărimii de ieşire din servomotor — unghiul de deschidere a clapetei de reglare, în % — după curba *2* din figura 3, aproximează funcţionarea în trepte a servomotorului cu o funcţionare continuă. Ansamblul acestor elemente poate fi considerat ca un regulator PI - ideal. Funcţia de transfer dedusă experimental pentru situaţia regulatorului studiat este :

$$Y_{R1} = 0{,}078\,\frac{1 + 8{,}6\,s}{s}. \qquad (7)$$

b) Funcţia de transfer a clapetei de reglare. Funcţia de transfer a clapetei de reglare a fost determinată experimental pentru cazanul studiat, conform [3]. Ţinînd seama de faptul că panta caracteristicii statice (fig. 2, curba *1*) dă valoarea coeficientului de amplificare :

$$Y_k(s) = \frac{X_e(s)}{X_i(s)} = 1000\,\frac{1 + 200\,s}{(1 + 40\,s)\;(1 + 80\,s)}, \qquad (8)$$

unde

$X_e(s)$ reprezintă debitul de gaze naturale ce trece prin clapetă (Nm^3/h), şi

$X_i(s)$ — unghiul de deschidere al clapetei (%).

c) Funcţia de transfer a cazanului. Funcţia de transfer a cazanului, pentru presiunea aburului viu, la perturbaţie cu debitul de gaze naturale, este determinat, de asemenea, prin măsurători experimentale [3] şi este de forma :

$$Y(s) = \frac{X_e(s)}{X_i(s)} = 2{,}35\cdot 10^{-3}\left(\frac{1{,}62}{1 + 120\,s} + \frac{43{,}2\,s}{1 + 20\,s}\right)\frac{1}{1 + 200\,s}, \qquad (9)$$

unde

$X_e(s)$ este presiunea aburului supraîncălzit în conducta de ieşire din cazan;

$X_i(s)$ — debitul de gaze naturale.

d) Funcţia de transfer a traductorului de debit gaze naturale. Relaţia de dependenţă între debitul de gaze naturale şi căderea de presiune măsurată de traductor este o funcţie pătratică. Această relaţie este :

$$\Delta p = Q^2\,\frac{\Delta p_{max}}{Q^2_{max}}. \qquad (10)$$

Pentru diafragma de măsură instalată în cazanul studiat, valorile pentru debitul maxim de gaz şi căderea de presiune maximă sînt :

$\Delta p_{max} = 2000$ mm col. H_2O ; $Q_{max} = 40\,000 Nm^3/h$,

de unde rezultă :

$$\Delta p = 1{,}25\cdot 10^{-6}\,Q^2,$$

curbă care este reprezentată în figura 4.

Pentru domeniul de funcţionare a regulatorului, şi anume 10 000 — 30 000 Nm^3/h, corespunzător domeniului 40 — 100% din sarcină, aceas-

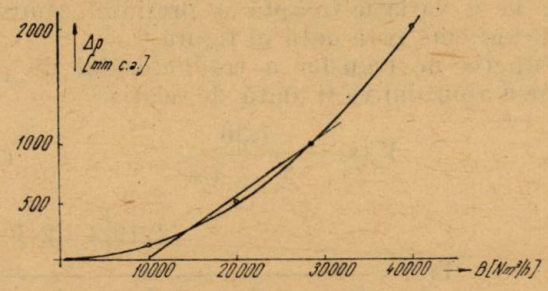


Fig. 4. Caracteristica statică a diafragmei de măsură pentru debitul de gaze naturale.

tă funcţie pătratică poate fi aproximată cu una liniară, astfel că funcţia de transfer se poate scrie sub forma unui element proporţional :

$$Y'_B(s) = \frac{1}{27}. \qquad (11)$$

Pentru traductorul de debit de gaz, care dă o anumită tensiune, funcţie de căderea de presiune măsurată pe diafragma de laminare, funcţia de transfer este cea pentru un element proporţional cu întîrziere (element periodic), şi anume :

$$Y''_B(s) = \frac{0{,}18}{1 + 5\,s}, \qquad (12)$$

conform curbei reprezentate în figura 5.

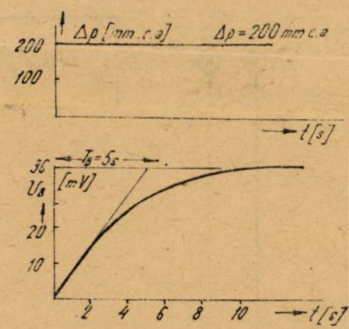


Fig. 5. Curba de variaţie a tensiunii de ieşire din traductorul de debit gaze naturale, la mărime de intrare treaptă de 200 mm col. H_2O.

Scriind funcţia de transfer a traductorului pentru mărimea de intrare a debitului de gaz, se obţine :

$$Y_B(s) = Y'_B(s)\cdot Y''_B(s) = \frac{1}{27}\cdot\frac{0{,}18}{1 + 5\,s},$$

de unde :

$$Y_B(s) = \frac{0{,}00667}{1 + 5\,s} \qquad (13)$$

e) Funcţia de transfer pentru traductorul de presiune a aburului viu. Curba de variaţie în timp a tensiunii de ieşire din traductorul de presiune a aburului viu, la o variaţie-treaptă a presiunii aburului de 2 kgf/cm², este dată în figura 6.

Funcţia de transfer a traductorului de presiune a aburului va fi dată de relaţia :

$$Y_p(s) = \frac{7{,}36}{1 + 4s}. \qquad (14)$$

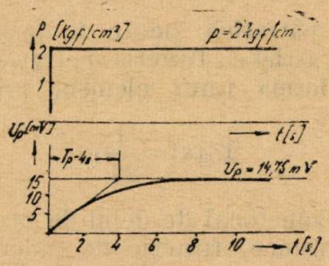


Fig. 6. Curba de variaţie a tensiunii de ieşire din traductorul de presiune abur viu, la mărime de intrare treaptă de 2 kgf/cm².

f) Funcţia de transfer a sistemului de reglare. Folosind funcţiile de transfer ale elementelor, schema-bloc a buclei de reglare este cea din figura 7.

Verificarea stabilităţii sistemului. Pentru verificarea stabilităţii sistemului de reglare în circuit închis se va aplica criteriul Bode, trasînd caracteristicile amplitudine-pulsaţie şi fază-pulsaţie pentru funcţia

$$Y(s) = \frac{Y_{R1}(s) \cdot Y_k(s)}{1 + Y_{R1}(s) \cdot Y_k(s) \cdot Y_B(s)} \cdot Y_c(s) \cdot Y_p(s). \qquad (16)$$

Făcînd înlocuirile numerice conform (7), (8), (9), (13) şi (14) şi efectuînd calculele, rezultă :

$$Y(s) = \frac{2{,}19\left[1 + 2 \cdot 0{,}413 \frac{1}{0{,}0177} s + \left(\frac{1}{0{,}0177}\right)^2 s^2\right]}{\left(1 + \frac{1}{0{,}0083} s\right)\left(1 + \frac{1}{0{,}005} s\right)\left(1 + \frac{1}{0{,}05} s\right)\left[1 + 2 \cdot 0{,}09 \cdot \frac{1}{0{,}18} s + \left(\frac{1}{0{,}18}\right)^2 s^2\right]}. \qquad (17)$$

Din expresia funcţiei de transfer în circuit deschis se deduce valoarea coeficientului de amplificare şi valoarea pulsaţiilor de frîngere :

$$A_{dB} = 20 \log 2{,}19 = 6{,}8 \text{ [dB]}$$

$$\omega_1 = 0{,}005 ; \quad \omega_2 = 0{,}0083 ; \quad \omega_3 = 0{,}0177 ;$$

$$\omega_4 = 0{,}05 ; \quad \omega_5 = 0{,}18.$$

Caracteristica amplitudine-pulsaţie apare în figura 8, *1*.

Efectuînd adunarea grafică a caracteristicilor fiecărui element în parte, rezultă caracteristica fază-pulsaţie (curba *2* din diagrama din figura 8).

Aplicînd criteriul Bode şi comparînd caracteristicile amplitudine-pulsaţie şi fază-pulsaţie,

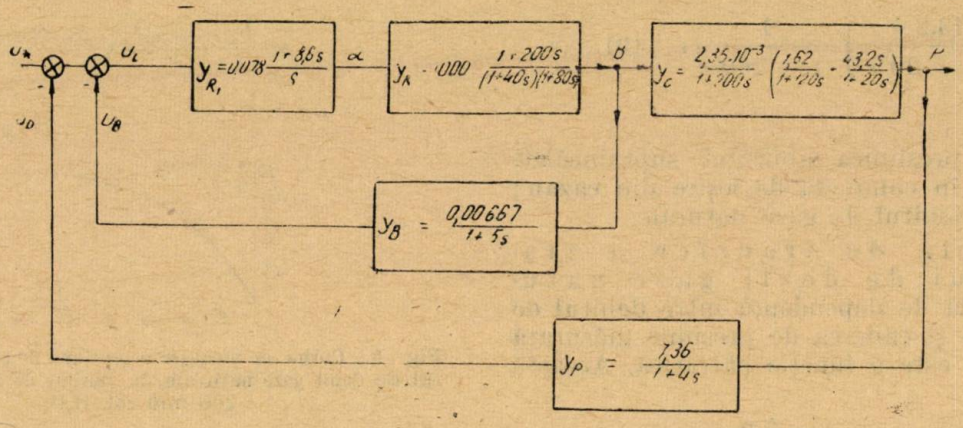


Fig. 7. Schema-bloc a instalaţiei de reglare a presiunii aburului supraîncălzit.

Funcţia de transfer în circuit închis a buclei de reglare a presiunii aburului viu, corespunzătoare acestei figuri, este :

$$Y_o(s) = \frac{\frac{Y_{R1}(s) \cdot Y_k(s)}{1 + Y_{R1}(s) \cdot Y_k(s) \cdot Y_B(s)} \cdot Y_c(s)}{1 + \frac{Y_{R1}(s) \cdot Y_k(s)}{1 + Y_{R1}(s) \cdot Y_k(s) \cdot Y_B(s)} \cdot Y_c(s) \cdot Y_k(s)}. \qquad (15)$$

prin suprapunerea acestor caracteristici astfel încît linia $A_{dB} = 0$ să corespundă cu $\Phi = -180°$, rezultă că sistemul este la limita de stabilitate.

Pentru înlăturarea instabilităţii sistemului s-au modificat clapetele de reglare, astfel încît debitul maxim prin clapetă să treacă la o deschidere a clapetei de 60°, conform celor

spuse la pct. 2.2. Calculul s-a făcut după [4], așa cum se va arăta la pct. 2.

A rezultat un diametru interior al clapetei de reglare de 300 mm, față de 500 mm existent inițial. Noua caracteristică statică a clapetei este cea dată în figura 2, curba *2*.

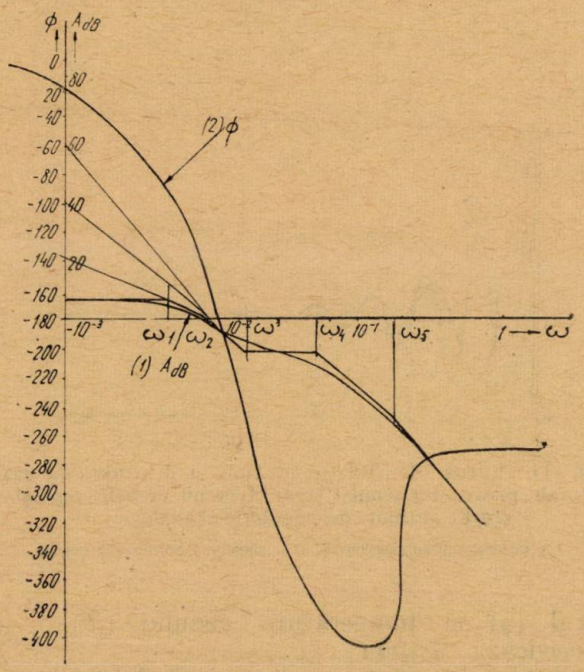


Fig. 8. Caracteristica amplitudine-pulsație și frecvență-pulsație, pentru verificarea stabilității sistemului în circuit închis (în situația inițială).

Analiza performanțelor tranzitorii în situația clapetei de gaze naturale modificate. Funcția de transfer a clapetei de reglare. Ținînd seamă de faptul că prin modificarea diametrului clapetei de reglare se modifică coeficientul de amplificare, noul coeficient va fi dat de panta noii caracteristici statice a clapetei (fig. 2, curba *2*).

Funcția de transfer a clapetei devine :

$$Y_{K_m}(s) = 425\,\frac{1 + 200\,s}{(1 + 40s)\;(1 + 80\,s)}. \qquad (18)$$

Verificarea stabilității sistemului. Înlocuind în formula (16) noua valoare a funcției de tansfer a clapetei :

Valoarea coeficientului de amplificare este în această situație : $A_{dB} = 20 \log 0{,}92 = 1{,}85$ dB.

Conform criteriului Bode, sistemul de reglare în circuit închis rezultă stabil dacă marginea de

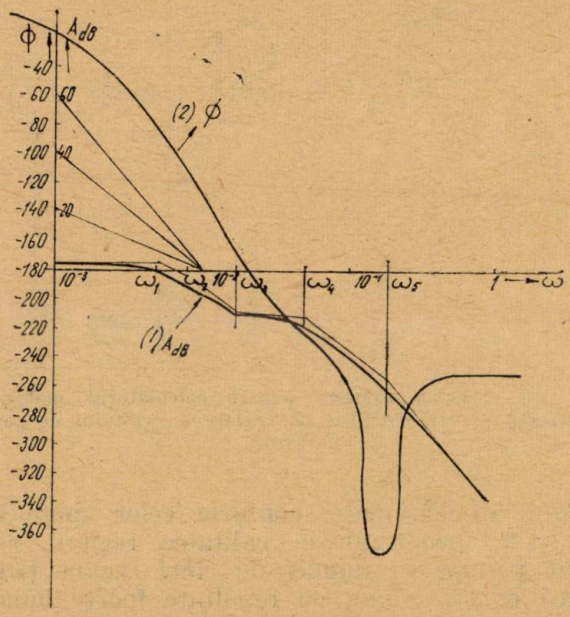


Fig. 9. Caracteristica amplitudine-pulsație și frecvență-pulsație, pentru verificarea stabilității sistemului în circuit închis (în situația cu clapeta modificată).

amplitudine este pozitivă și mai mare de 10 bB, iar marginea de fază este pozitivă și mai mare de 20°.

După cum rezultă din figura 9, condițiile de stabilitate sînt asigurate pentru sistemul de reglare cu clapeta modificată. Marginea de fază este pozitivă și are valoarea 80°, iar marginea de cîștig este de 14 dB.

1.3. *Modelarea procesului tranzitoriu pe calculatorul analogic.* Pentru ilustrarea și mai clară a îmbunătățirii aduse procesului de reglare, prin dimensionarea corectă a clapetei de reglare a gazului, s-a modelat pe calculatorul analogic procesul tranzitoriu la mărime de intrare treaptă, în cele două variante.

Programul pentru calculator este dat în figura 10.

$$Y_m(s) = \frac{0{,}92\left[1+2\cdot 0{,}413\cdot\frac{1}{0{,}0177}\cdot s+\left(\frac{1}{0{,}0177}\right)^2 s^2\right]}{\left(1+\frac{1}{0{,}005}s\right)\left(1+\frac{1}{0{,}0083}s\right)\left(1+\frac{1}{0{,}05}s\right)\left[1+2\cdot 0{,}137\cdot\frac{1}{0{,}1175}\cdot s+\left(\frac{1}{0{,}1175}\right)^2 s^2\right]}. \qquad (19)$$

Verificarea stabilității se face prin criteriul Bode, urmărind caracteristicile amplitudine-pulsație și frecvență-pulsație, trasate în figura 9, *1*, respectiv, 9, *2*.

Curbele de variație ale debitului de gaze naturale sînt date în figura 11, pentru situația inițială cu clapeta supradimensionată, respectiv în curba *2* în situația cu clapeta de reglare a

gazului modificată, pentru mărimea de intrare treaptă în regulator.

2. **Dimensionarea clapetelor de reglare a gazului.** Experimentarea clapetelor de reglare a

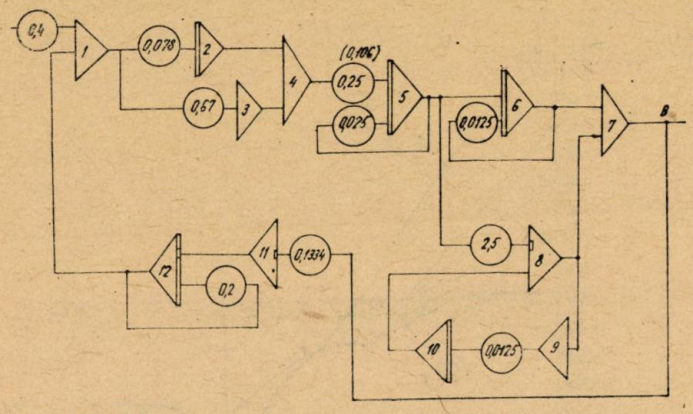


Fig. 10. Schema-program pentru calculatorul analogic, construită pentru circuitul de reglare a debitului de gaze naturale.

gazului dimensionate conform celor spuse la pct. 1.2, urmărindu-se calitatea reglării, s-a făcut pentru un număr de cinci cazane (trei tipuri constructive), cu rezultate foarte bune.

Pentru alegerea dimensiunii clapetelor de reglare a gazelor naturale se recomandă folosirea nomogramelor elaborate de firma „Fisher Controls" [4], nomograme transpuse în unităţile de măsură folosite în R.S. România (fig. 12).

Dimensionarea clapetelor după nomogramele din figura 12 se poate face numai pentru tipul constructiv clapetă-fluture circulară.

Pentru determinarea diametrului clapetei, cînd se cunoaşte presiunea la intrarea în clapetă (p_1), presiunea la ieşire (p_2), regimul de debite (Q), densitatea relativă în raport cu

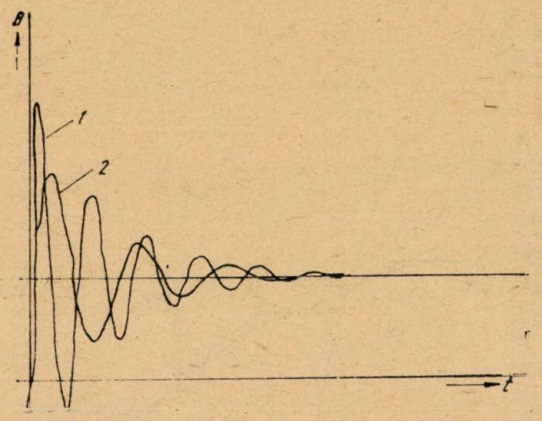


Fig. 11. Curba de variaţie în timp a debitului de gaze naturale pentru un semnal treaptă la intrarea în regulator (curbe obţinute pe calculatorul analogic):

1 – clapeta supradimensionată; *2* – clapeta dimensionată corect.

aerul (ρ) şi temperatura gazului (T), se procedează astfel:

1. Dacă $\rho_{gaz} \neq 1$, se corectează debitul prin următoarea metodă:

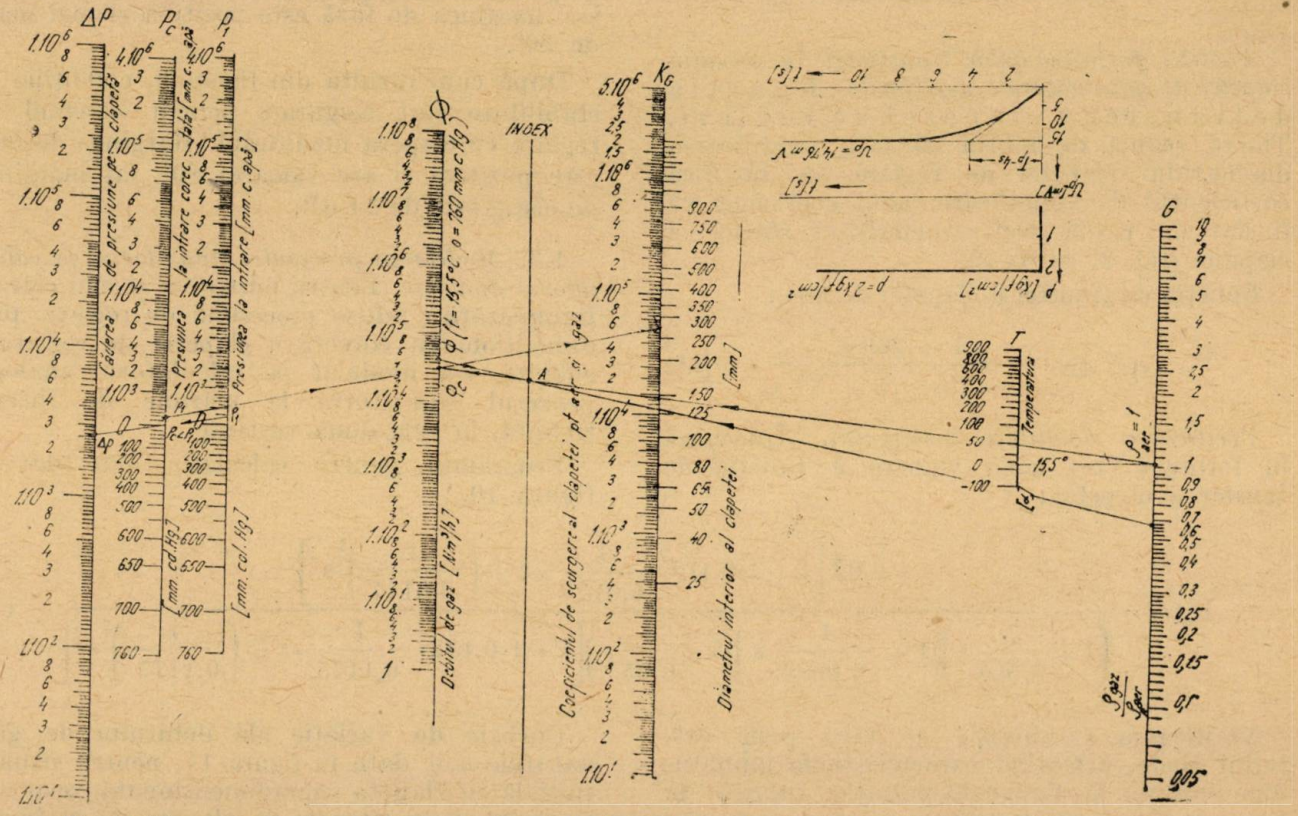


Fig. 12. Nomogramele de calcul pentru diametrul clapetei de reglare tip fluture circulară, pentru $\varphi_{max} = 60°$.

a) Se unește cu o linie dreaptă valoarea debitului de pe scara Q cu valoarea ρ_{gaz} de pe scara G și se marchează punctul de intersecție cu scara „index".

b) Se unește cu o linie dreaptă punctul marcat pe „index" și punctul $\rho = 1$ de pe scara G, la intersecția acestei drepte cu scara Q găsindu-se debitul corectat.

2. Dacă temperatura gazului $t \neq 15{,}5°C$, se face o corecție astfel:

a) Se unește printr-o linie dreaptă debitul de gaz Q (punctul pentru valoarea corectată corespunzătoare lui ρ_{real}), cu valoarea temperaturii marcate pe scara T, notîndu-se punctul de intersecție cu scara „index".

b) Se unește printr-o linie dreaptă punctul de pe „index" cu $t = 15{,}5°C$, marcat pe scara T, și în prelungirea acestei linii se citește valoarea corectată a debitului pe scara Q.

3. Determinarea coeficientului de scurgere al clapetei se face astfel:

a) Se unește cu o linie dreaptă punctul de pe dreapta Δp, corespunzător diferenței de presiune aplicată pe clapetă pentru debitul la care se face calculul $(p_1 - p_2)$, cu punctul de pe scara p_1, corespunzător valorii presiunii la intrarea în clapetă, marcîndu-se punctul de intersecție cu scara P_c.

b) Dacă punctul de intersecție cu scara P_c (presiunea de intrare corectată) este $> P_1$, se unește printr-o linie dreaptă acest punct cu punctul corespunzător valorii corectate a debitului de pe scara Q. În prelungirea acestei linii, pe scara K_g, se va găsi valoarea coeficientului de scurgere căutat;

c) Dacă punctul de intersecție de pe scara $P_c < P_1$, pe scara P_c se ia direct valoarea P_1, din care se duce dreapta prin Q pînă la intersecția cu K_g.

4. Pentru clapete de reglare care se calculează la deschiderea maximă $\varphi_{max} = 60°$, se va citi direct valoarea diametrului clapetei, în dreptul punctului aflat pe K_g.

Pentru alte unghiuri maxime de deschidere și clapete de alte tipuri constructive, se vor folosi nomograme sau tabele ce se găsesc în literatura de specialitate [4].

Exemplu de calcul. În cele ce urmează se va arăta modul de dimensionare a clapetei de reglare a gazului, pentru cazul concret analizat.

Datele de calcul:

$p_1 = 5\,500$ mm col. H_2O;
$p_2 = 3\,000$ mm col. H_2O;
$\Delta p = 2\,500$ mm col. H_2O;
$Q = 35\,000$ Nm³/h;
$\rho_{gaz} = 0{,}717$ kgf/cm³;
$t = 15{,}5°C$.

a) Se determină valoarea reală a debitului de gaz Q_c, prin corectarea valorii inițiale $Q = 35\,000$ Nm³/h, în conformitate cu densitatea reală.

Densitatea relativă pentru $\rho_{aer} = 1$ kgf/cm³ este:

$$\rho_{g.r.} = \frac{\rho_{gaz}}{1{,}29} = \frac{0{,}717}{1{,}29} = 0{,}56.$$

b) Se află punctul P_1 pe scara P_c, deoarece prin unirea lui $\Delta P = 2500$ mm col. H_2O cu $P_1 = 5500$ mm col. H_2O rezultă $P_c < P_1$.

c) Unind punctul P_1 cu valoarea corectată a debitului Q_c, rezultă valoarea coeficientului de scurgere $K_g = 50\,000$ și diametrul clapetei de 300 mm.

Bibliografie

[1] Gregg, Ch. *Alegerea și folosirea clapetelor fluture.* Heating, Piping & Air Conditioning, martie 1962.

[2] Schäfer, G. *Die Auswahl von Stellventilen.* Regelungstechnik, nr. 2, 1953.

[3] Berbece, C. *Analiza comparativă cu ajutorul calculatorului analogic IRME a trei variante de schemă pentru reglarea presiunii aburului la cazanul TGM—84 (funcționare bloc).* Lucrări tehnico-științifice IRME, nr. 4, 1965.

[4] Fisher Controls — Catalog 300. Continental & Power Operated Butterfly Valves. Fisher-Continental Butterfly Valves Air of Gas Capacity Chart — 141.05.

[5] Dobkin, Duleev. *Reglarea automată a proceselor termice.* Editura Tehnică, 1964.

(Articol intrat în redacție la 10 octombrie 1968)

—— o ——

Aspecte privind comportarea în exploatare a materialului conductei forțate de la centrala hidroelectrică Moroeni

Ing. **M. Vilan** și ing. **P. Iftime** *)

În cursul lunii noiembrie 1968, la CHE Moroeni s-a produs avarierea conductei forțate, avînd drept consecință oprirea totală a centralei.

Înainte de a se face prezentarea acestei avarii, se vor indica unele caracteristici mai importante ale centralei.

Centrala are o putere instalată de 15,3 MW, asigurată de două grupuri turbogeneratoare de tip Pelton cu ax orizontal.

Căderea netă, ținîndu-se seama de toate pierderile de sarcină de la captarea apei și pînă la resituția sa în rîul Ialomița, este de 206,72 m, respectiv 222,98 m în cazul funcționării centralei cu ambele grupuri sau numai cu unul singur.

Centrala folosește potențialul hidroenergetic al rîului Ialomița, pe sectorul cuprins între canalul de fugă al uzinei Dobrești și Valea Gîlma, unde panta rîului este de $48‰$, iar căderea amenajată de 233 m.

Debitul instalat este de 8,5 m³/s, fiind asigurat pentru o perioadă de aproximativ 50 zile pe an.

Schema centralei Moroeni constă dintr-o captare pe firul apei, o galerie de derivație sub presiune, o conductă forțată și o centrală aeriană.

În figura 1 se prezintă schița amenajării și profilul în lung geologic.

Castelul de echilibru este de tipul diferențial, în întregime subteran, format dintr-o cameră superioară de 30,25 m lungime și 30 m² secțiune interioară, o cameră inferioară

*) M. Vilan este ing. adj. șef serviciu la întrepr. „Energoreparații"; P. Iftime este șef serviciu la M.E.E.—CIPEET.

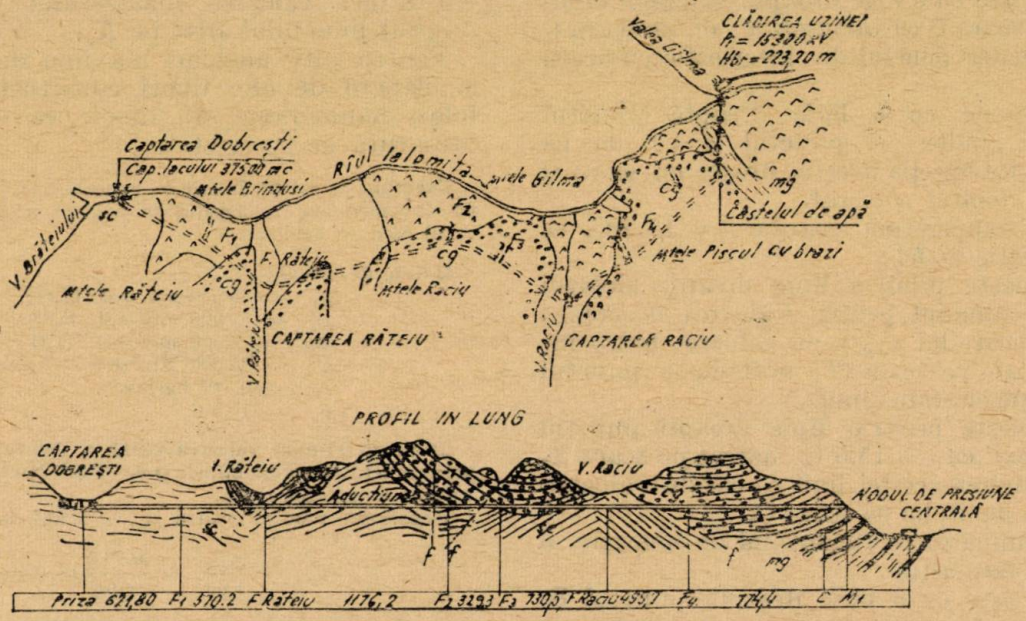


Fig. 1. Uzina hidroelectrică Moroeni. Schița amenajării și profil în lung geologic.

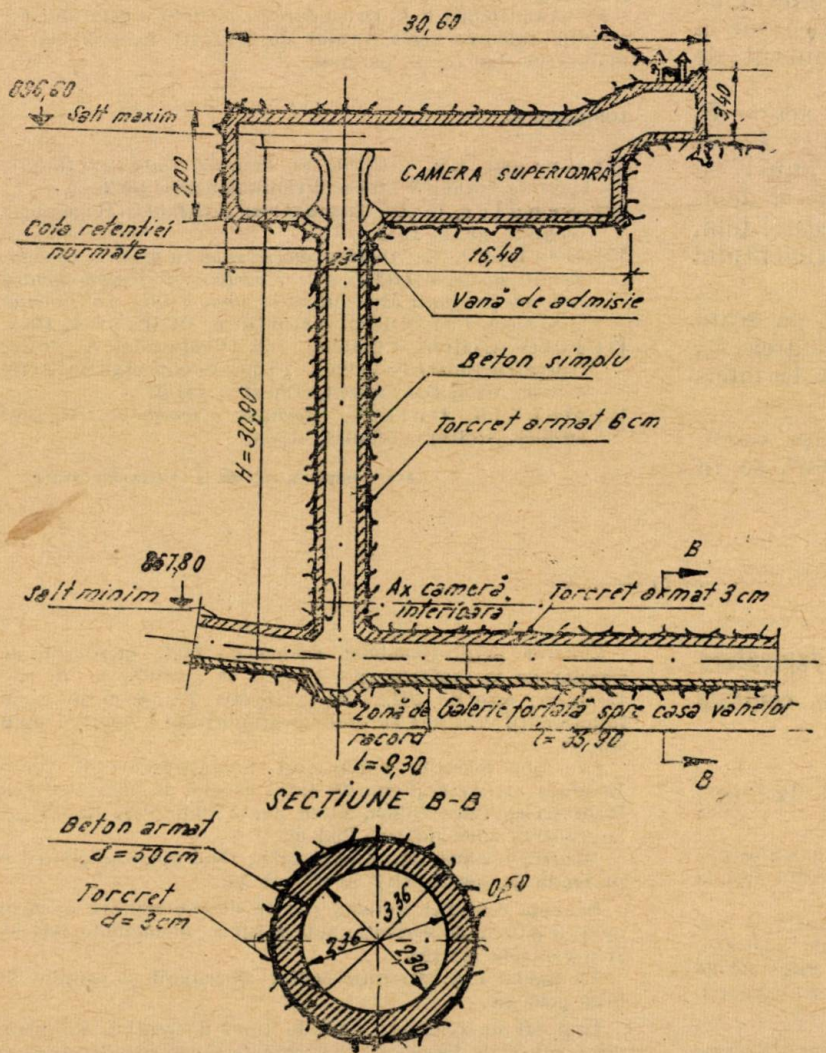


Fig. 2.

circulară în lungime de 39 m și 3,85 m diametru și un puț vertical cu diametrul de 2,30 m. Acest puț vertical se continuă în camera superioară cu un deversor circular de beton armat, de aproximativ 4,20 m, așa după cum se poate vedea în figura 2.

Casa vanelor este echipată cu două vane-fluture, avînd $D = 1775$ mm, din care una automată acționată electric, iar cealaltă manuală.

Conducta forțată are o lungime de 548,20 m și un diametru variind între 1,844 m, la casa vanelor, și 1,498 m, la distribuitor. Ea este așezată într-o tranșee deschisă, de 4,80 m lățime, săpată în alternanțe de gresii și marne cu intercalații de conglomerate.

Grosimea mare a deluviului de la baza versantului a impus adoptarea la execuție a unui unghi în plan orizontal spre aval și traversarea aeriană peste rîul Ialomița, printr-un arc autoportant, cu deschiderea de 42,8 m și 8,23 m săgeată, așa după cum se poate vedea în figura 3.

Pentru ancorarea conductei forțate s-au realizat nouă masive, ele marcînd schimbarea de pantă în profilul în lung, în afară de masivele 7 și 8, care constituie încastrările conductei în arc pentru traversarea Ialomiței.

Conducta forțată are o manta termoizolantă.

Centrala este amplasată pe malul stîng al Ialomiței, pe o platformă realizată în excavație (fig. 4).

Echipamentul electromecanic al centralei cuprinde două turbine Pelton cu ax orizontal, cu turația de 375 rot/min, prevăzute fiecare cu două rotoare și două injectoare, cuplate direct cu generatoare trifazate de 9400 kVA.

Puterea nominală a unei turbine, funcționînd singură la plină sarcină, este $P = 8250 - 8540$ kW, pentru un debit maxim $Q = 4{,}40$ m³/s și un randament al turbinelor $\eta_t = 85{,}3 - 87{,}5\%$.

Turbinele sînt echipate cu regulatoare automate duble, pentru acţionarea injectoarelor şi deflectoarelor şi cu vane plane acţionate hidraulic.

Generatoarele trifazate sînt legate bloc cu două transformatoare de 6/35/110 kV şi 10000 kVA, care la rîndul lor se racordează la staţia exterioară de 110 kV, prevăzută cu bare duble şi cu mai multe linii de 110 kV (fig. 4).

Serviciile proprii de curent continuu din centrală sînt alimentate de o baterie de acumulatoare de 220 V.

Centrala a fost dată în exploatare în anul 1953.

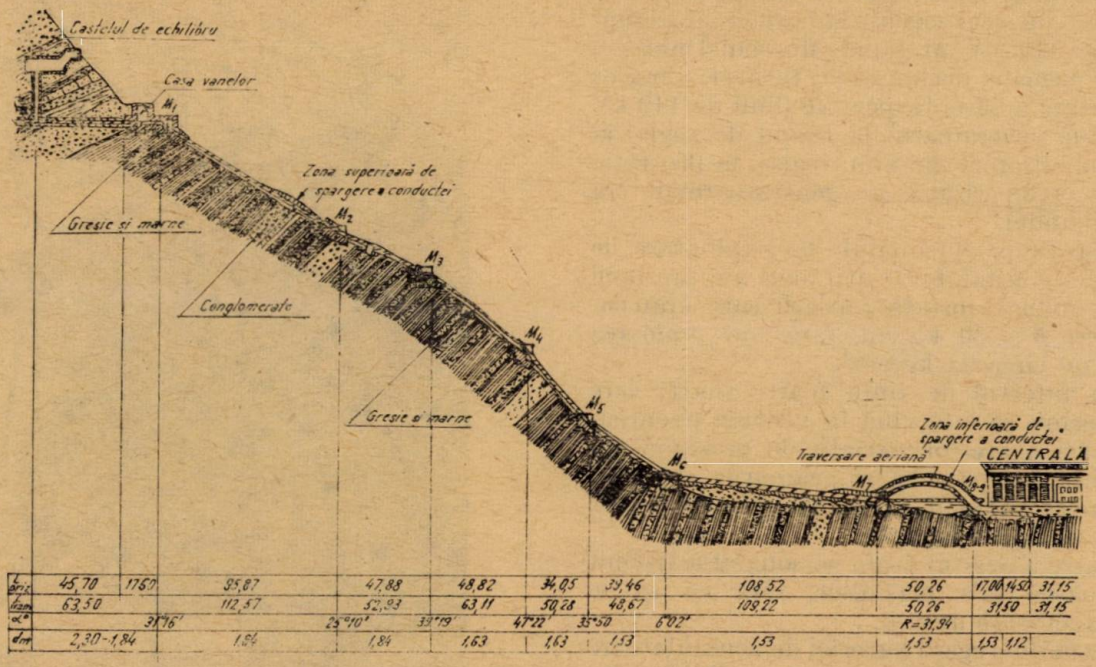


Fig. 3. Nod de presiune : castel – casa vanelor. Conducta forţată.

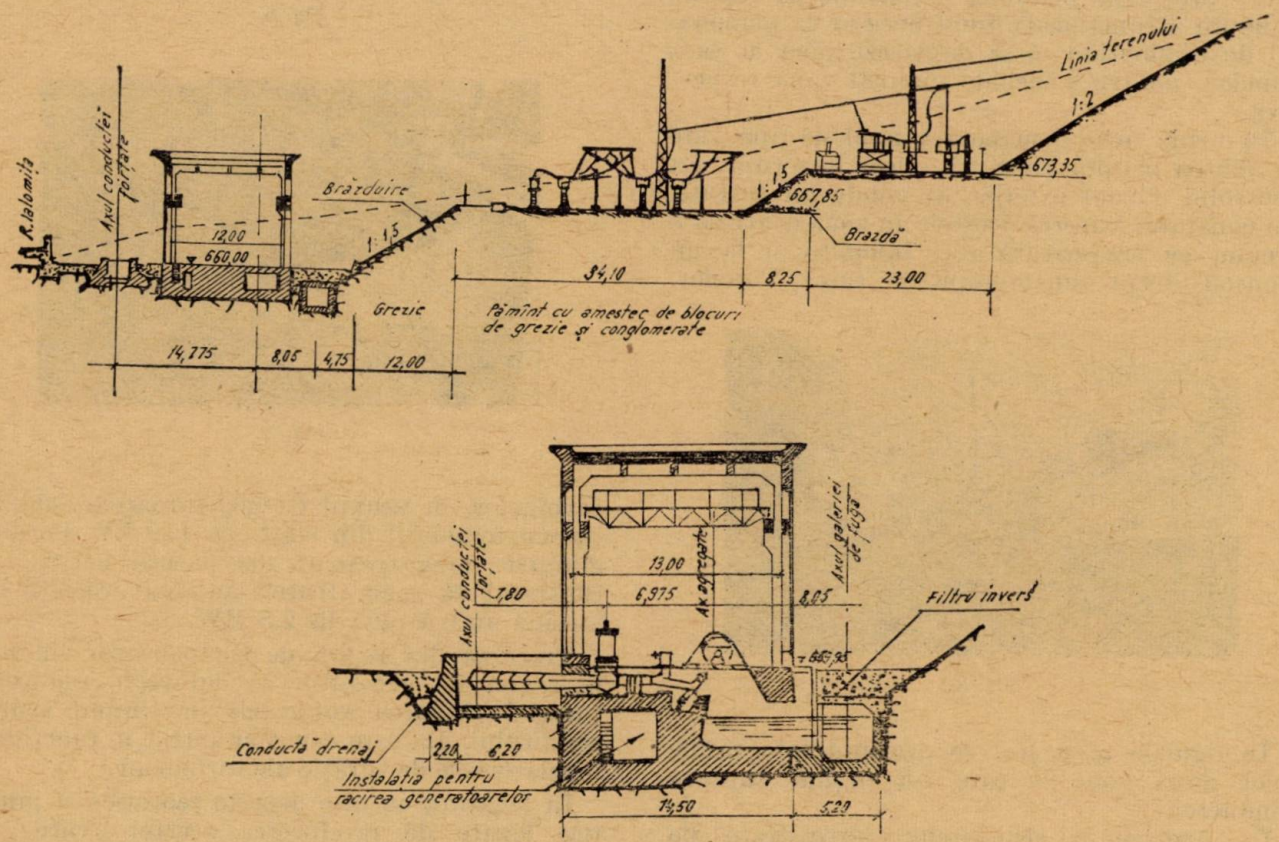


Fig. 4. Clădirea centralei şi staţia de transformare de 110 kV.

1. **Descrierea avariei.** În cursul nopții de 15/16 noiembrie 1968, la cererea dispecerului energetic, cele două hidrogeneratoare au fost trecute să funcționeze în regim de compensator sincron. În acest regim au funcționat în condiții normale circa opt ore. În jurul orei 6 se produce un scurtcircuit la bornele întreruptorului de 110 kV al liniei Moroeni-Dobrești, avînd ca urmare declanșarea tuturor surselor de alimentare a barei respective (linii de 110 kV și cele două generatoare) la timpii de reglaj ai protecțiilor (timpul maxim reglaj la protecția maximală temporizată a generatoarelor era de 7,2 secunde).

În acest timp, personalul de exploatare de la turbine a constatat variații mari ale presiunii apei din conducta forțată, variații care erau cuprinse între 5 și 30 kg/cm² față de valoarea normală, de circa 22 kg/cm².

Într-un interval de timp foarte scurt, care nu le-a permis să intervină în vederea eventualei eliminări a acestor variații de presiune, un jet puternic de apă a spart geamurile centralei și a inundat subsolul centralei, sala mașinilor și bateria de acumulatoare.

Ca urmare a acestui fapt, personalul a trebuit să părăsească sala mașinilor, fără ca să se producă accidente umane.

Din cauza distrugerii bateriei de acumulatoare de către jetul de apă, nu a fost posibilă telecomandarea vanelor-fluture ale conductei forțate (protecția mecanică existentă la aceste vane nu a funcționat), fiind necesar ca personalul de exploatare să se deplaseze pînă la casa vanelor, pentru a închide manual vana respectivă.

În urma acestei manevre, jetul de apă care se abătea asupra centralei a fost întrerupt. La controlul vizual exterior al conductei forțate, s-a constatat ruperea acesteia în zona centrală a arcului ce traversează rîul Ialomița și la un tronson drept din apropierea casei vanelor.

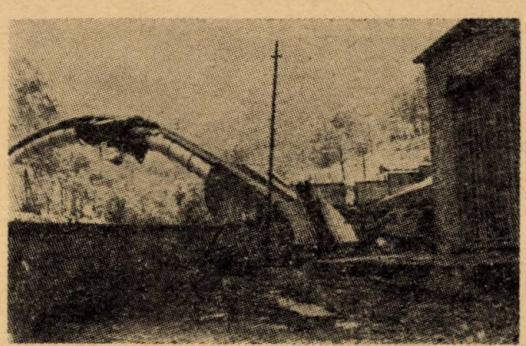


Fig. 5.

În figurile 5, 6 și 7 se prezintă fotografiile celor două zone în care s-a produs ruperea conductei.

Ca urmare a elementelor înregistrate de diferitele aparate în timpul avariei, s-a putut determina că variațiile mari de presiune ce s-au produs în conducta forțată s-au datorat regimului de oscilații ale injectoarelor de apă ale

Fig. 6.

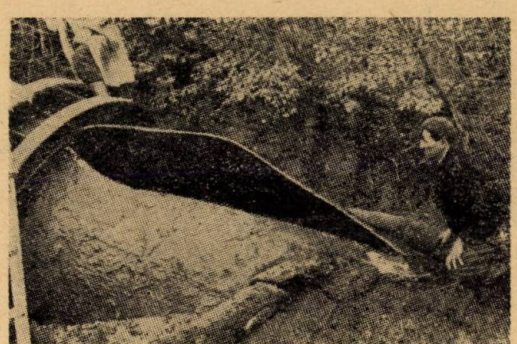


Fig. 7.

turbinelor, în timpul cît generatoarele debitau pe scurtcircuitul din stația de 110 kV. Pe diagramele înregistratoare ale puterii active s-a constatat că generatoarele au avut variații de sarcină activă pînă la 2,5 MW.

Trecerea din regim de compensator sincron în regim de generator se datorește reducerii turației (frînarea rotorului) în timpul scurtcircuitului, din care cauză au intrat în funcțiune regulatoarele de turație ale turbinelor.

În legătură cu alte aspecte teoretice și practice legate de producerea acestei avarii, se întreprind în continuare studii, care fără îndoială

vor completa elementele referitoare la unele probleme insuficient de elucidate pînă în prezent.

2. Analize şi încercări executate în scopul stabilirii calităţii materialului conductei forţate, a energiei specifice de rupere şi a stabilităţii. Analizele şi încercările efectuate în laboratoarele I.I.S. „Energoreparaţii" şi ale Institutului de cercetări metalurgice, atît din zonele avariate ale conductei forţate, cît şi din zonele neavariate ale conductei superioare şi inferioare, au constat din :

a) *Determinări ale compoziţiei chimice*, ale căror rezultate sînt arătate în tabela 1. În vederea încadrării materialului din care s-au confecţionat virolele conductei forţate, în mărcile de oţel corespunzătoare, sînt redate în tabela 2 compoziţiile chimice prescrise de GOST 380—60 pentru mărcile de oţel sovietic MST 3 (calmat), MST 3 kp (necalmat), MST 4 (calmat) şi MST 4 kp (necalmat).

Compararea rezultatelor analizelor chimice efectuate cu prescripţiile GOST 380—60 indică

Compoziţia chimică *Tabela 1*

Nr. crt.	Denumirea virolei	Marcaj	Nr. analizei chimice	Compoziţia chimică, %						Încadrarea calităţii oţelului după GOST 380—60
				C	Mn	Si	S	P	Al	
1	Virolă mijlocie din zona avariată a conductei superioare	ML şi MT	490—1	0,19	0,46	urme	0,022	0,022	0,015	MSt 3 kp
2	I d e m	idem	490—2	0,20	0,42	urme	0,033	0,030	—	,,
3	Virolă cuprinzînd capătul crăpăturii conductei superioare (zona avariată)	FT FL	491—1	0,17	0,36	urme	0,015	0,025	0,015	,,
4	I d e m	idem	491—2	0,20	0,33	urme	0,032	0,030	—	,,
5	Virolă de lîngă colierul de rigidizare al conductelor superioare (zona avariată)	CL CT	488	0,20	0,49	urme	0,032	0,031	—	,,
6	Virolă din zona avariată (conductă inferioară)	DL DT	484	0,20	0,48	urme	0,032	0,030	—	,,
7	Virolă din zona avariată (conductă inferioară)	DL DT	489	0,20	0,38	0,15	0,032	0,030	—	,,
8	Virolă din zona neavariată (conductă inferioară)	1L	492	0,28	0,22	0,03	0,033	0,038	urme	MSt 4 kp
9	I d e m	4L	493	0,27	0,17	0,59	0,039	0,022	0,028	,,
10	I d e m	5L	494	0,20	0,24	0,04	0,031	0,038	urme	MSt 3 kp
11	Colier rigidizare din zona avariată a conductei superioare		487	0,20	0,49	0,22	0,032	0,030	—	MSt 3

Tabela 2

Nr. crt.	Denumirea mărcii de oţel conform GOST 380—60	Compoziţia chimică (în %) prescrisă de GOST 380—60					
		C	Mn	Si	S	P	Al
1	MSt 3 (calmat)	0,14 0,22	0,40 0,65	0,12 0,30	max. 0,055	max. 0,045	nu se prescrie
2	MSt 3 kp (necalmat)	0,14 0,22	0,30 0,60	max. 0,07	,,	,,	
3	MSt 4 (calmat)	0,18 0,29	0,40 0,70	0,12 0,30	,,	,,	
4	MSt 4 kp (necalmat)	0,18 0,27	0,40 0,70	max. 0,07	,,	,,	

Tabela 3

Caracteristici mecanice determinate la + 20°C

Nr. crt.	Denumirea probei	Marcaj	Caracteristici mecanice la +20°C						Observaţii
			σ_c kgf/mm²	σ_r kgf/mm²	δ_5 %	ψ %	$Kcu30\text{-}2$ kgm/cm²	Îndoire $d = 2a$ $\alpha = 180°$	
1	Virolă mijlocie din zona avariată a conductei superioare	ML_1	22,8	42,5	34	58	9		*l* = direcţia longitudinală a conductei (perp. pe direcţia de laminare a tablei)
2	Idem	ML2	24,7	42	33	56	8		
3	Idem	ML2 A		42,5					
4	Idem	ML3		42,5			8		
5	Idem	MT1	20,9	42	34	63	15		*T* = direcţia circulară a conductei (direcţia de laminare a tablei)
6	Idem	MT2	20,9	41,5	34	57	16		
7	Idem	MT2 A		45,3					
8	Idem	MT3					17		
9	Idem	MT3 A		43,3					
10	Virolă de lîngă colierul de rigidizare a conductei superioare (zona avariată)	CL1					8,8		
11	Idem	CL2	22	41	25	56	11,1		
12	Idem	CT1	22,5	42	28,5	59	7,4		
13	Idem	CT2					9,9		
14	Virolă din zona avariată a conductei inferioare	DL1					1,5		
15	Idem	DL2					1,2		
16	Idem	DL3					15,7		
17	Idem	DL4					15,3		
18	Idem	DL5					15,6		
19	Idem	DT2		44	36		1		
20	Idem	DT3	24	44,5	24,5	57			
21	Idem	DT5					9,7		
22	Îmbinare sudată a două tronsoane din zona avariată a conductei inferioare	DT1		44	24	—	10		
23	Virolă din zona neavariată a conductei superioare	1L1S	23*	38,5	34	57	—	corespunz.	*) limită de curgere aparentă
24	Idem	1L2S	21*	38,0	28	62	—	,,	
25	Idem	2L1S	22,5*	40,0	24	37	—	,,	
26	Idem	2L2S	23*	39,5	34	60	—	,,	
27	Virolă din zona neavariată a conductei inferioare	1L1**	24	42,5	29	49	—	,,	**) limita de curgere s-a determinat din diagramele caracteristice corespunzătoare fiecărei epruvete
28	Idem	1L2**	23	42	29	54	—	,,	
29	Idem	4L1**	23	41,5	32	58	—	,,	
30	Idem	4L2**	23	41	33	60	—	,,	
31	Idem	5L1**	21	41	30	52	—	,,	
32	Idem	5L2**	22	41,5	30	47	—	,,	

o dispersie mare a procentelor diverselor elemente componente, şi anume :

— conţinutul de carbon variază între 0,17 şi 0,27 % ;
— conţinutul de siliciu variază de la valori sub 0,03 % pînă la 0,59 %, iar
— conţinutul de mangan între 0,17 şi 0,49 %.

Variaţiile mari ale procentelor de carbon, siliciu şi mangan de la o tablă analizată la alta indică diferenţele de calitate ale materialului virolelor conductei forţate. Analizele chimice corespund în cea mai mare parte mărcii de oţel MST 3 kp (necalmat). Unele rezultate corespund mărcilor de oţel MST 4 kp (necalmat) şi MST 4 (calmat), cu excepţia conţinutului de mangan, care este sub valoarea minimă prescrisă de GOST 380—60.

Din analizele chimice efectuate rezultă că oţelul din care s-au confecţionat virolele conductei forţate este în general un oţel necalmat.

Ca urmare a experienţei căpătate în construcţia de conducte forţate în ultima perioadă de timp, normele internaţionale actuale prevăd utilizarea numai a tablelor de oţel (calmate) cu siliciu, dezoxidate suplimentar cu aluminiu.

b) *Determinări ale caracteristicilor mecanice.* Încercările mecanice s-au efectuat în prima etapă din probe preluate din imediata apropiere a crăpăturilor virolelor avariate, situate în zona superioară şi în zona inferioară a conductei forţate. Deoarece rezultatete obţinute pe probele prelevate din imediata apropiere a crăpăturilor virolelor conductei puteau fi diferite de cele care se puteau obţine la virolele neavariate, s-a considerat că nu pot fi trase concluzii certe asupra calităţii materialului numai din rezultatele primelor încercări şi analize. Pentru acest motiv s-a efectuat, în etapa a doua, o altă serie de analize şi încerăcări pe probe prelevate din virole neavariate.

Încercările de tracţiune şi îndoire la + 20°C s-au executat conform prevederilor STAS 200—67 şi 777—65, pe epruvete plate avînd grosimea tablei, cu axa lor longitudinală în direcţia de laminare a tablei şi perpendiculară pe direcţia de laminare. Încercările de rezilienţă pe epruvetele cu crestătura în U s-au executat conform prevederilor STAS, avînd axa în direcţia longitudinală de laminare a tablei şi perpendiculară pe această direcţie, cu crestătura epruvetei perpendiculară pe axă.

Rezultatele încercărilor de tracţiune, de îndoire pe dorn şi de rezilienţă cu crestătură în U (de tip Mesnager) efectuate la temperatura de + 20°C, pe epruvete prelevate în direcţia longitudinală a conductei notată cu *L* (perpendiculară pe direcţia de laminare a tablei) şi în direcţia circulară a conductei notată cu *T* (care reprezintă direcţia longitudinală de laminare a tablei) sînt redate în tabela 3.

Pentru compararea rezultatelor obţinute la încercările efectuate cu valorile prescrise de GOST 380—60, au fost redate în tabela 4 valorile minime prescrise pentru caracteristicile mecanice la + 20°C ale mărcilor de oţel St 3 kp, St 3, St 4 kp, St 4, iar în cazul rezilienţei, pentru marca V St 3 (oţel cu compoziţie chimică şi caracteristici mecanice garantate).

Valorile rezistenţelor de rupere şi ale alungirilor au fost, pentru toate epruvetele încercate, superioare valorilor minime prescrise de GOST pentru St 3 şi St 3 kp. Valorile limitei de curgere s-au situat în general în apropierea limitei inferioare prescrise de GOST pentru mărcile St 3 şi St 3 kp, fiind în unele cazuri

Tabela 4

Caracteristici mecanice prescrise de GOST 380 — 60 — Grupa A — (oţeluri cu caracteristici mecanice garantate).

Nr. crt.	Marca oţelului	σ_c kgf/mm²	σ_r kgf/mm²	δ_5 %	$K_{cu}30-2$ kgfm/cm²	Încercarea de îndoire pe dorn	observaţii
1	St 3 kp ; St 3						
1.1	table cu grosimea 4—20 mm	24	38—40 41—43 44—47	27 26 25	minim 7 *)	d = 0,5 t t = grosimea tablei d = diametrul dornului	
1.2	table cu grosimea 20—40 mm	22	38—40 41—43 44—47	27 26 25			*) Valorile se referă la rezilienţele în direcţie transversală, în cazul tablelor cu grosimi cuprinse între 12—25 mm pt. oţeluri cu caracteristici mecanice şi compoziţie chimică garantate (VSt 3)
2	St 4 kp ; St 4						
2.1	table cu grosimea 4—20 mm	26	42—44 45—48 49—52	25 24 23	minim 6 *)	d = 2 t	
2.2	table cu grosimea 20—40 mm	25	42—44 45—48 49—52	25 24 23			

puţin inferioare valorii minime. Comportarea probelor la încercarea de îndoire la rece pe dorn a fost în toate cazurile corespunzătoare.

O dispersie mare a rezultatelor s-a constatat la încercările de rezilienţă efectuate pe epruvete cu crestătura în U (tip Mesnager), la care s-au obţinut în general valori cuprinse între 7,4 şi 17 kgfm/cm², faţă de valoarea minimă de 7 kgfm/cm², prescrisă de GOST 380—60 pentru oţelul VSt 3 în cazul epruvetelor prelevate în direcţie transversală faţă de direcţia de laminare a tablelor. Numai la un număr de trei epruvete prelevate din apropierea crăpăturilor conductei s-au obţinut valori foarte scăzute ale rezilienţei, de 1,2 şi 1,5 kgfm/cm², ca urmare a unor defecte locale.

Ca şi în cazul compoziţiilor chimice, care diferă de la o tablă la alta, dispersia valorilor obţinute la încercările de rezilienţă indică de asemenea neuniformitatea calităţii tablelor folosite la construcţia conductei forţate. Faptul că multe din epruvetele încercate nu au prezentat limite de curgere aparente duce la concluzia că materialul conductei este ecruisat, ca urmare a deformărilor plastice care au apărut în mod normal în cursul exploatării.

c) *Încercări de încovoiere la şoc la temperaturi scăzute.* Pentru stabilirea cauzelor avariei s-au mai efectuat încercări de rezilienţă la +20°C şi la temperaturi scăzute, conform STAS 7511—66, pe epruvete cu crestătura în V (tip Charpy—V).

Rezultatele acestor încercări efectuate de laboratoarele Institutului de cercetări metalurgice sînt redate în tabela 5.

Din examinarea rezultatelor obţinute la aceste încercări rezultă că valorile energiilor de rupere la încercările efectuate pe epruvete cu crestătura în V sînt, în general, cu mult sub nivelul valorilor minime admise de normele actuale pentru conductele forţate, şi anume de 4 kgfm pentru media a trei încercări şi de 2,8 kgfm pentru valoarea cea mai scăzută a uneia din încercări.

Din valorile obţinute la aceste încercări rezultă că temperatura de tranziţie a materialului virolelor analizate ale conductei forţate (adică temperatura la care oţelul trece din starea plastică în starea fragilă) este situată deasupra temperaturii de +20°C, ceea ce nu corespunde prevederilor normelor actuale. Se menţionează că pentru siguranţa în exploatare se folosesc astăzi la construcţia conductelor forţate table din oţeluri ale căror temperaturi de tranziţie (corespunzătoare nivelului energiei de rupere de 4 kgfm) sînt situate la cel puţin —20°C.

d) *Încercări de îndoire pe epruvete încărcate longitudinal cu sudură pentru stabilirea sudabilităţii materialului conductei şi aspectului macroscopic al zonelor de rupere.* Pentru stabilirea sudabilităţii tablelor de oţel din care a fost construită

Tabela 5

Nr. crt.	Marcaj epruvetă	kV kgfm (da J)	Temperatura de încercare	Observaţii
1	1L1	0,6	0°C	
2	2	0,6	,,	
3	3	0,5	,,	
4	4	0,8	+20°C	
5	5	0,9	,,	
6	6	0,8	,,	
7	1T1	0,5	0°C	
8	2	0,5	,,	
9	3	0,6	,,	
10	4	0,8	+20°C	
11	5	0,7	,,	
12	6	0,7	,,	
13	2L1	1,4	0°C	
14	2	0,7	,,	
15	3	1,1	,,	
16	4	2,2	+20°C	
17	5	2,2	,,	
18	6	2,1	,,	
19	2T1	1,1	0°C	
20	2	1,0	,,	
21	3	0,8	,,	
22	4	3,3	+20°C	
23	5	3,1	,,	
24	6	3,0	,,	
25	1L1S	1,0	0°C	
26	2S	0,9	,,	
27	3S	0,9	,,	
28	4S	2,1	+20°C	
29	5S	1,8	,,	
30	6S	2,1	,,	
31	1T1S	1,2	0°C	
32	2S	1,1	,,	
33	3S	1,1	,,	
34	4S	2,3	+20°C	
35	5S	1,9	,,	
36	6S	2,1	,,	
37	4L1	1,2	0°C	
38	2	2,6	,,	
39	3	1,0	,,	
40	4	4,3	+20°C	
41	5	5,5	,,	
42	6	4,0	,,	
43	4T1	1,2	0°C	
44	2	1,1	,,	
45	3	0,8	,,	
46	4	6,5	+20°C	
47	5	6,5	,,	
48	6	2,8	,,	
49	5L1	0,4	0°C	
50	2	0,5	,,	
51	3	0,4	,,	
52	4	0,6	+20°C	
53	5	0,6	,,	
54	6	0,5	,,	
55	5T1	0,4	0°C	
56	2	0,4	,,	
57	3	0,4	,,	
58	4	0,6	+20°C	
59	5	0,6	,,	
60	6	0,5	,,	
61	2L1S	1,0	0°C	
62	2S	0,7	,,	
63	3S	0,8	,,	
64	4S	2,0	+20°C	
65	5S	1,7	,,	
66	6S	1,9	,,	
67	2T1S	1,0	0°C	
68	2S	0,9	,,	
69	3S	1,0	,,	
70	4S	1,5	+20°C	
71	5S	2,2	,,	
72	6S	2,0	,,	

conducta forţată s-au efectuat de către laboratoarele Institutului de cercetări metalurgice, care a colaborat cu Întreprinderea „Energoreparaţii" la efectuarea analizelor şi încercărilor conductei forţate, încercări de îndoire tip Kommerel. Aceste încercări s-au executat pe probe prelevate din virolele conductei inferioare, încărcate longitudinal cu sudură conform normei austriece ÖNORM—M—3052. Forma epruvetei este arătată în figura 8.

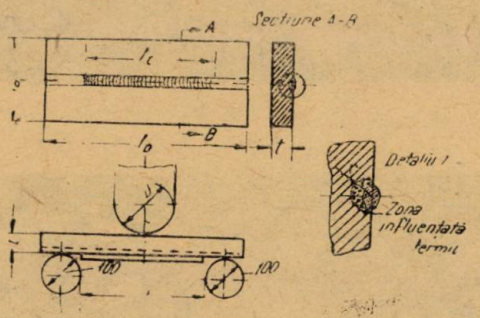


Fig. 8.

Axa longitudinală a epruvetelor încercate a fost perpendiculară pe direcţia de laminare a tablei. Grosimea epruvetelor a fost aceea a tablei încercate, şi anume de 25 mm. Lungimea longitudinală a epruvetei a fost de 350 mm, lăţimea *La* de 150 mm, raza *R* a şanţului de 3 mm şi lungimea *Lc* a cordonului de sudură de 25 mm. Diametrul *D* al dornului a fost de 80 mm (faţă de diametrul prescris de 75 mm pentru grosimea de 25 mm a tablei).

Şanţul de secţiune semicirculară cu raza de 3 mm a fost executat pe una din feţele de laminare. În acest şanţ s-a depus un cordon de sudură uşor bombat, realizat printr-o singură trecere, utilizîndu-se un electrod cu înveliş acid. După sudare, epruvetele nu au fost supuse nici unui fel de tratament termic sau mecanic.

Îndoirea epruvetelor trebuia să fie efectuată lent şi continuu, la un unghi de 180°, sau pînă la rupere.

Pentru încărcarea cu sudură s-au folosit electrozi marca OVERHOT, cu diametrul de 4 mm, intensitatea curentului de sudură fiind de 160—190 A.

Unghiurile de îndoire măsurate după ruperea epruvetelor prin apropierea celor două părţi ale epruvetei au fost :

— pentru epruveta marcată *1 L 1* 33°
— pentru epruveta marcată *1 L 2* 30°.

În epruveta marcată *5 L 1* s-a observat o suprapunere de material defect, care se întindea aproape pe toată lăţimea epruvetei.

În ceea ce priveşte aspectul ruperii, sînt posibile următoarele cazuri :

— rupere mixtă, atunci cînd aspectul ruperii este parţial cristalin şi în parte mat, fibros, sau cînd, aspectul rupturii fiind mat şi fibros, unghiul de îndoire la rupere este inferior valorii date de curba *A* din figura 9 ;

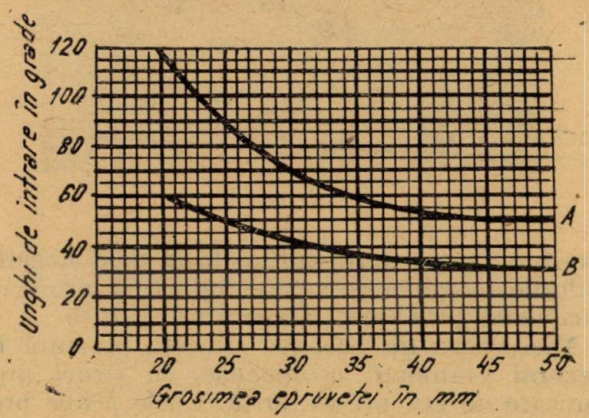


Fig. 9.

— rupere fragilă, atunci cînd ruperea intervine brusc pe toată secţiunea şi cînd aspectul ruperii este cristalin.

În cazul încercărilor efectuate, ruperea epruvetelor a avut un caracter fragil, producîndu-se brusc pe toată secţiunea. Aspectul ruperii, după cum rezultă din figura 10, a fost 100% cristalin.

e) *Microstructura.* Microstructura probelor metalografice prelevate din zonele avariate şi

Fig. 10.

neavariate ale conductei, în stare neatacată, indică un conţinut de incluziuni nemetalice care depăşesc punctajul maxim indicat în scara etalon STAS 5949—65.

Fig. 11.

În figurile 11 şi 12 (× 100) se observă incluziuni de silicaţi fragili şi silicaţi nedeformaţi.

La alte probe s-au observat incluziuni de silicaţi plastici alungiţi.

Incluziunile nemetalice sînt în general mari şi neuniform repartizate în masa metalică.

Fig. 12.

Prezenţa lor a putut influenţa în mod negativ valorile energiilor de rupere obţinute la proba de încovoiere prin şoc la temperaturi scăzute.

Microstructura probelor atacate prezintă în general granulaţii neomogene, cu şiruri pronunţate de grăunţi de ferită. Unele probe prezintă granulaţii crescute cu ferită parţial aciculizată.

În figura 13 se redă microstructura unei probe de material la grosisment de 100, care

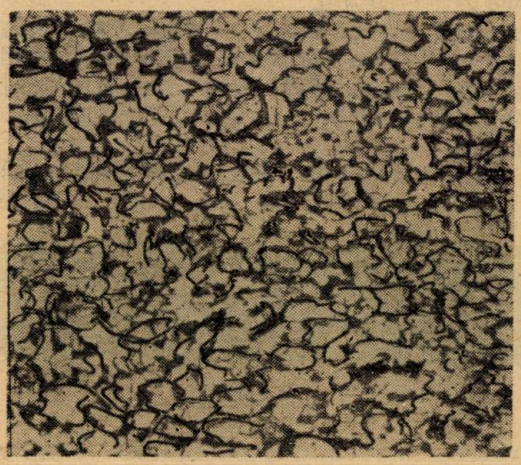


Fig. 13.

prezintă o granulaţie relativ omogenă, grăunţii de ferită avînd punctajul 7—8, conform scării etalon STAS 5998—58.

Faţă de această microstructură corespunzătoare, constatată numai la una din probele examinate, celelalte probe prezintă microstructuri cu granulaţii crescute, cu neomogenităţi pronunţate şi cu aciculizări ale feritei.

Astfel, în figura 14 este redată la acelaşi grosisment, de 100, microstructura unei probe cu o granulaţie mai mare decît cea din figura 13, totuşi relativ omogenă.

În figura 15 ($\times 100$) alungirea grăunţilor este mai puţin pronunţată, însă neomogenitatea structurală este foarte mare, mărimea grăunţilor de ferită variind între punctajul 8 şi 4.

În figura 16 se observă de asemenea o mare neomogenitate structurală, cu şiruri foarte pronunţate de grăunţi mari de ferită.

Fig. 14.

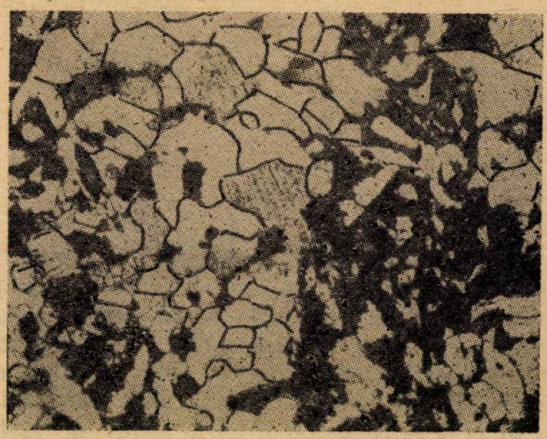


Fig. 15.

Fig. 16.

În figura 17 este redată o microstructură cu granulaţie neomogenă, însă diferită de cele arătate anterior.

Neuniformitatea microstructurii, granulaţiile crescute şi neomogenitatea structurală explică valorile obţinute la încercările efectuate şi

ilustrează în mod concludent variațiile de calitate ale tablelor utilizate.

Este de menționat că normele actuale pentru tablele folosite la construcția conductelor forțate prescriu granulații fine și omogene.

Fig. 17.

3. **Considerații generale privind ruperile fragile; criteriile de alegere a materialelor din acest punct de vedere.** Scăderea rezilienței cu scăderea temperaturii, deci apariția din ce în ce mai accentuată a fenomenului de fragilizare cu scăderea temperaturii, este caracteristică pentru oțelurile-carbon, pentru oțelurile slab aliate, cît și pentru oțelurile aliate.

Fragilitatea se manifestă prin distrugerea materialelor fără deformații plastice și fără o absorbție deosebită de energie mecanică.

La oțelurile-carbon și la oțelurile slab aliate, scăderea rezilienței nu se face continuu, ci printr-un salt la o anumită temperatură. Se disting trei zone caracteristice :

Zona I, zona ruperilor cu caracter tenace (ruperea plastică, ruperi vîscoase sau ruperi fibroase, pentru care domeniul de temperatură este $t_1 < t < 0°C$); această zonă este caracterizată în general printr-o variație continuă și o dispersie mică a valorilor rezilienților K_{cu} (epruvete cu crestătura în U tip Mesnager).

Zona a II-a, zona de dispersie a valorilor K_{cu} (zonă intermediară, pentru care domeniul de temperatură este $t_2 < t < t_1$); în această zonă ruperile au un caracter mixt, tenace-fragil. Această zonă se caracterizează printr-o scădere bruscă a rezilienței și o dispersie mare a valorilor K_{cu}.

Zona a III-a, zona ruperilor fragile sau casante, pentru care domeniul de temperatură este $t < t_2$; această zonă este caracterizată printr-o variație continuă și o dispersie restrînsă a valorilor K_{cu}.

Temperatura la care materialul trece din starea corespunzătoare ruperii tenace în situația corespunzătoare ruperii fragile se numește temperatură critică de fragilizare, determinînd „pragul de rupere la rece" sau „pragul de fragilizare la rece". La oțelurile-carbon și la oțelurile slab aliate apar două praguri de fragilizare : un prag de fragilizare superior (corespunzător temperaturii t_1) și un prag de fragilizare inferior (corespunzător temperaturii t_2).

În mod practic, ca temperatură critică pentru apariția fragilizării la rece în cazul oțelurilor-carbon și slab aliate se consideră temperatura t_1, corespunzătoare pragului superior de fragilizare, iar pentru temperaturi $t < t_1$ se consideră că ruperea este numai fragilă. Pentru funcționarea fără pericole la temperaturi scăzute (sub 0°C), se recomandă alegerea unor materiale cu temperatura pragului de fragilizare superior cît mai scăzută. Coborîrea temperaturii pragului de fragilizare superior se poate obține prin reducerea conținutului de carbon și a conținutului de fosfor din oțel.

Ca temperatură critică pentru apariția fragilizării la rece se consideră acea temperatură pentru care valoarea rezilienței reprezintă un anumit procent din valoarea la temperatura ambiantă.

Stabilirea modului de comportare a oțelurilor la temperaturi joase și alegerea materialelor pentru confecționarea rezervoarelor se fac prin diverse metode. Metoda elaborată de Robertson, de exemplu, pune în evidență faptul că pentru fiecare marcă de oțel există o anumită temperatură critică sub 0°C (numită temperatură critică SOD — Standard Oil Development), deasupra căreia crăpăturile și microfisurile existente sau formate în metal nu se mai propagă. Ruperea fragilă se amorsează totdeauna în locul apariției fisurilor sau crăpăturilor, deci sub influența naturii materialului și a eforturilor unitare remanente.

Variația efortului unitar de rupere cu temperatura (sub 0°C) în cazul unui oțel se vede din figura 18.

Se poate presupune că există anumite valori ale eforturilor unitare sub care dacă se coboară,

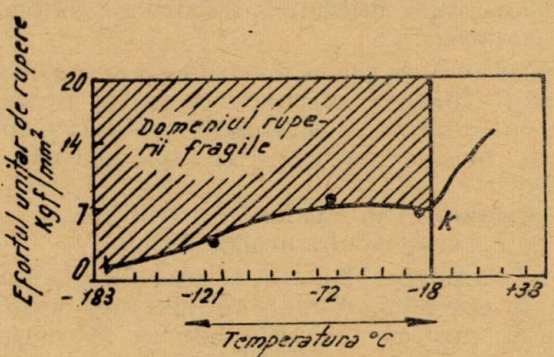


Fig. 18.

pentru o anumită temperatură, microfisurile și crăpăturile nu se mai propagă. Dacă eforturile unitare depășesc aceste valori pentru o tem-

peratură dată, sau dacă pentru o stare de eforturi date temperatura atinge valoarea critică sau scade sub această valoare, ruperea fragilă este practic inevitabilă.

Pe baza încercărilor se construiește curba eforturilor unitare, care provoacă ruperea fragilă la diferite temperaturi, pentru fiecare material în parte. După cum rezultă din figura 18, pentru temperaturi mai ridicate decît —18°C (punctul *k*) are loc o creștere bruscă a efortului unitar de rupere. De aici rezultă că pentru oțelul respectiv ruperea fragilă poate avea loc numai pentru valori foarte ridicate ale efortului unitar. Pentru temperaturi mai scăzute, efortul unitar de rupere scade brusc, ruperea fragilă avînd loc la valori scăzute ale eforturilor unitare.

Dacă mărimea efortului unitar efectiv pentru o anumită temperatură dată este situată deasupra curbei reprezentate în figura 18 (în domeniul ruperii fragile), are loc amorsarea ruperii fragile, propagarea ei fiind inevitabilă. În cazul în care, pentru o temperatură dată, efortul unitar efectiv se află situat sub curba reprezentată în aceeași figură, microfisurile sau crăpăturile existente sau cele care apar nu se mai propagă.

Rezultatele încercărilor efectuate pentru un mare număr de cazuri au dus la următoarele concluzii :

—Extinderea ruperii fragile pentru orice tip de oțel depinde de starea de eforturi și de temperatură. Ruperea fragilă locală nu se propagă dacă efortul unitar din metal nu depășește valoarea critică rezultată din figura 18.

— Deasupra temperaturii critice, propagarea ruperii fragile se produce numai sub acțiunea unor eforturi unitare efective ridicate. Sub temperatura critică, efortul unitar de rupere scade treptat.

Probele de rupere la încovoiere pe epruvete încărcate longitudinal cu sudură (tip Kommerel) sînt prevăzute de majoritatea normelor actuale ca încercări obligatorii pentru recepționarea tablelor groase utilizate la construcția conductelor sudate.

Încercările la șoc pe epruvete cu crestătura în V (tip Charpy), efectuate în cazul analizat, sînt considerate ca încercările cele mai concludente pentru determinarea temperaturii de tranziție.

Concluzii. Din analizele, încercările și studiile efectuate rezultă următoarele :

1. Compoziția chimică a oțelului conductei forțate corespunde unui oțel necalmat, calitate de oțel care nu mai este admisă de normele actuale pentru a fi utilizată la construcția de conducte forțate. Normele actuale prevăd utilizarea unor oțeluri calmate cu siliciu și dezoxidate suplimentar cu aluminiu.

Oțelurile nealiate cu un conținut de carbon redus sînt superioare celor cu conținut ridicat. Menținerea limitei de rezistență se realizează în acest caz prin creșterea conținutului de mangan.

2. Analiza microstructurii în stare neatacată a evidențiat existența unor zone cu incluziuni nemetalice a căror mărime depășește punctajul maxim indicat în scara-etalon STAS 5949—65. Probele microscopice în stare atacată au indicat, în general, o neomogenitate a structurii, cu granulație mare. Din acest punct de vedere, se menționează că normele actuale prevăd utilizarea pentru construcția de conducte sudate a unor table de oțel în stare normalizată cu granulație fină și omogenă, care să asigure obținerea unor caracteristici mecanice uniforme și a unor energii de rupere pe epruvete cu crestătura în V (tip Charpy—V) la temperaturi scăzute corespunzătoare, peste limita minimă admisă.

Literatura tehnică [6] arată că fragilitatea la rece este determinată în mod special de impuritatea oțelului și de mărimea granulației. Influența negativă a incluziunilor nemetalice depinde de cantitatea, mărimea și forma incluziunilor, precum și de repartizarea acestora și se manifestă mai ales la solicitările suferite de oțel în timpul exploatării.

Creșterea granulației oțelului influențează, de asemenea, în mod negativ asupra fragilității la rece. Microstructurile materialului virolelor conductei forțate, arătate în figurile 13—17, explică valorile scăzute ale energiilor de rupere obținute la încercările efectuate pe epruvetele tip Charpy—V la temperaturi scăzute..

Oțelul cu structură fină și omogenă, calmat, este net superior calitativ celui necalmat.

3. După rezultatele obținute la încercările de încovoiere la șoc la temperaturi scăzute, executate pe epruvete cu crestătura în V (tip Charpy—V), oțelul folosit la construcția conductei forțate se încadrează, conform IIS*) 22—59, în clasele de calitate A sau B, clase de calitate neadmise astăzi în construcția conductelor forțate. Temperatura de tranziție a oțelului utilizat este situată la +20°C, pe cînd normele actuale pentru conducte forțate prevăd utilizarea unor table de oțel a căror temperatură de tranziție, corespunzătoare nivelului energiei de rupere de 4 kgfm, să fie situată la cel puțin —20°C, adică oțeluri din clasa D de calitate [2], [3], [9].

4. Aspectul zonelor de rupere și unghiurile de îndoire obținute la încercările tip Kommerel au fost necorespunzătoare. Astfel, unghiurile de îndoire la care s-a produs ruperea au fost de numai 30—33°, inferioare celor de pe curba *A* din ÖNORM—M—3052.

Ruperea nu s-a produs prin deformarea progresivă a epruvetei, ci brusc pe toată secțiunea. Caracterul ruperii a fost fragil (100% cristalin).

*) Institutul internațional de sudură.

La una din epruvete au apărut în ruptură defecte de laminare neadmisibile. Este de menţionat că defectele ascunse pot constitui puncte de amorsare ale ruperii fragile. Dacă efortul unitar total din metal, în momentul distrugerii stratului ce ascundea defectul, este suficient de mare, ruperea fragilă se poate amorsa şi propaga mai departe.

5. Din faptul că la încercările mecanice de tracţiune efectuate nu s-au constatat în multe cazuri limite de curgere aparente, rezultă că materialul conductei este parţial ecruisat, ca urmare a deformărilor plastice locale apărute în cursul exploatării.

6. Din literatura tehnică de specialitate [3], [9] cercetată rezultă că la primele centrale hidroelectrice cu presiune înaltă conductele forţate au fost executate din oţel SM necalmat. Unele conducte au suferit avarii, materialul utilizat dovedindu-se sensibil la îmbătrînire şi cu o siguranţă redusă în exploatare.

Materialele utilizate în această perioadă erau oţeluri SM moi, necalmate, cu un conţinut scăzut de siliciu şi mangan şi cu un grad de puritate insuficient. În trecut, rezilienţa la temperaturi scăzute, şi în special cea determinată pe epruvete cu crestătura în V, nu era controlată.

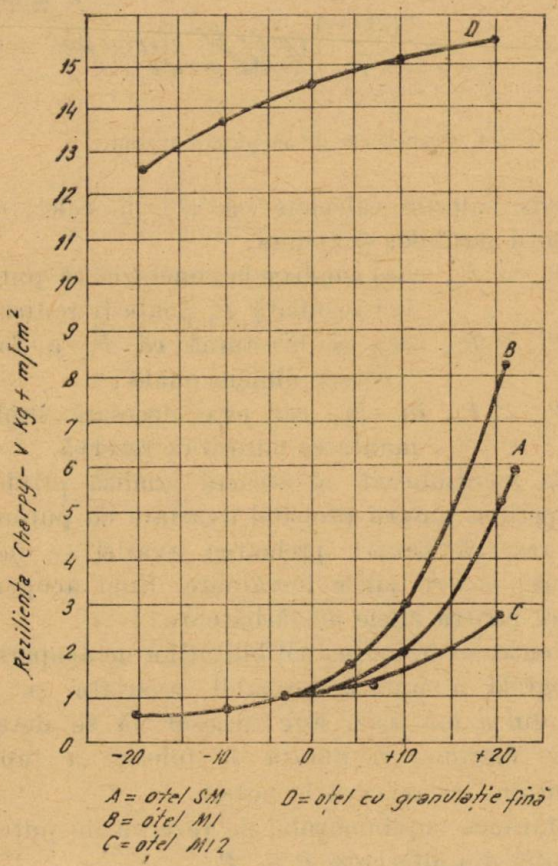


Fig. 19.

În cazul unor materiale omogene şi al unor eforturi pur statice, fără şoc, apariţia unor avarii nu ar fi de temut dacă se utilizează oţeluri necalmate. Experienţa a arătat însă că defectele de material, amorsele de fisură sau chiar numai crestăturile de suprafaţă pot provoca distrugeri chiar la sarcini reduse. Pornind de la fisuri existente, distrugerea poate fi amorsată dacă materialul are tendinţa de rupere fragilă. Comportarea materialului la rupere fragilă, necunoscută înainte, prezintă o importanţă deosebită.

Variaţia mare a temperaturii la care au loc scăderile bruşte de rezilienţă (determinate pe epruvetele cu crestătura în V, tip Charpy), în funcţie de calitatea oţelului, rezultă din diagramele indicate în figura 19, conform [3].

Deoarece din literatura tehnică rezultă că rezilienţa măsurată pe epruvere cu crestătura rotundă tip VSM nu indică în mod suficient tendinţa la ruperea fragilă şi nu poate scoate în evidenţă efectul de crestătură, s-au efectuat, în cazul analizat, încercări de încovoiere la şoc pe epruvete cu crestătura în V (tip Charpy), care scot în evidenţă în mod clar sensibilitatea la crestătură şi tendinţa de rupere fragilă.

Încercările de îndoire cu adaos de sudură, efectuate în cazul analizat, au dat de asemenea indicaţii suplimentare în ceea ce priveşte sensibilitatea la ruperea fragilă.

7. Experienţa acumulată în ultima perioadă de timp în construcţia cunductelor forţate a dus la utilizarea unor materiale care să prezinte o foarte mare siguranţă în exploatare.

Bibliografie

[1] * * * Electricité de France. *Règle aplicable au contrôle des produits métalurgiques et des sudures.*

[2] Müller, W. *Matériaux des sudures des aciers, conduiles forcées pour les centrales hidrauliques.* Revue Téchnique Sulzer, nr. 3, 1967.

[3] Felix, W. *Comportement à la rouplure des aciers soudables à haute résistance pour construction des conduites forcées.* Revue Téchnique Sulzer, nr. 3, 1967.

[4] Constantinescu, A. *Expertiză tehnică privind ruperea fragilă a conductei forţate de la CHE Moroeni.*

[5] Felix, W. *Le comportement des aciers à la rouplure sous des éfforts de choc et de traction.* Revue Téchnique Sulzer, nr. 1, 1962.

[6] Băltănoiu şi Sontea, S. *Influenţa purităţii structurii asupra valorii rezilienţei la temperaturi joase.* Metalurgia, nr. 4, 1967.

[7] Pavel, A. *Materiale şi rezistenţe admisibile folosite în construcţia de utilaje pentru industria prelucrătoare şi petrochimică.* Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1967.

[8] Mateescu, C. şi Sipiceanu, M. *Uzina hidroelectrică Moroeni.* Energetica, nr. 12, 1960.

[9] Müller, W. *L'emploi de toles d'acier à haute résistance dans la fabrication de conduites forcées.* Revue Téchnique Sulzer, nr. 3, 1966.

(Articol intrat în redacţie la 6 martie 1969)

Siguranța în exploatare a unui sistem energetic

II. Acoperirea puterii probabil avariate cu rezerva de putere pentru preluarea avariei*)

Ing. *I. C. Staicu* și ing. *A. Mitroi***

În legătură cu un sistem energetic interconectat este de o deosebită importanță problema siguranței în exploatare, pentru continuitatea în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Această problemă este complexă, datorită faptului că istoriogramele funcționării și avariilor elementelor unui sistem energetic, care intervin în studiu, sînt procese stohastice, definite ca familii de funcții aleatorii.

Referitor la unul dintre aspectele importante ale problemei, cel al rezervei de putere care trebuie menținută în sistem pentru acoperirea avariilor, s-a prezentat într-o lucrare anterioară [1] o metodă de evaluare a puterii probabil avariate și a rezervei de putere pentru preluarea avariei.

Pe baza acestor evaluări, în lucrarea de față se prezintă compararea puterii avariate cu rezerva de putere și posibilitățile de preluare economică a vîrfului puterii avariate.

1. **Puterea avariată.** Se reamintește că, în această metodă de studiu a problemei siguranței în exploatare a unui sistem energetic [1], puterea probabil avariată P_a se reprezintă prin curba clasată din figura 1, cu probabilitatea de avarie q în abscisă.

Un punct oarecare de pe curbă indică pe abscisă probabilitatea de a fi în avarie o putere mai mare decît cea indicată de ordonata corespunzătoare punctului.

2. **Rezerva de putere.** S-a arătat, de asemenea în [1], că rezerva de putere pentru preluarea avariei P_{ra} rezultă ca diferență între puterea instalată P_i și suma totală a reducerilor de putere (cu caracter permanent P_{ind}, pentru reparații planificate ΔP_{ra}, cu caracter temporar aferentă grupurilor care nu sînt în reparație $\Delta' P_{ld}$), a rezervei de putere pentru menținerea frecvenței P_{mf} și a sarcinii sistemului P_s, conform ecuației bilanțului de puteri.

$$P_i - (P_{ind} + \Delta P_{ra} + \Delta' P_{ld} + P_{mf} + P_s) = P_{ia}. \quad (1)$$

3. **Studiul acoperirii puterii avariate cu rezerva de putere.** Pe graficul din figura 2 s-au

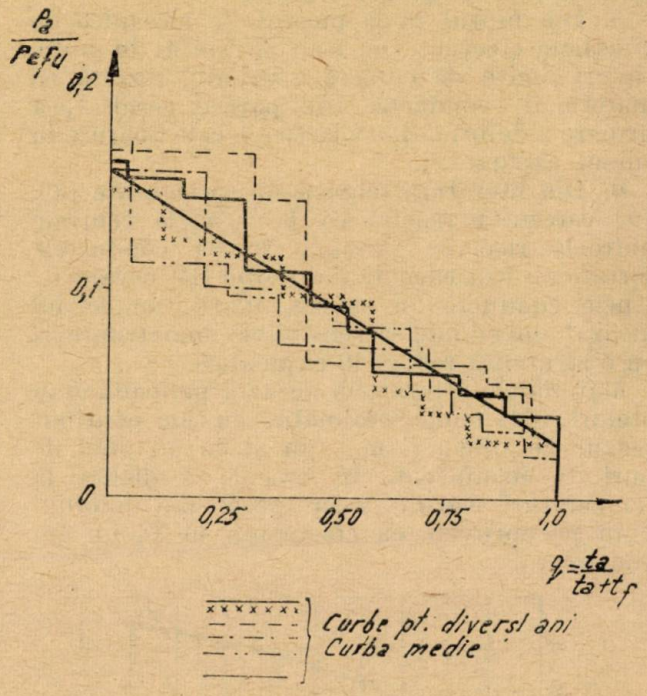


Fig. 1. Curbele clasate ale puterii avariate.

înscris valorile calculate cu (1) în cele trei situații posibile, și anume:

$P_{ra} > P_a$, care conduce la concluzia că puterea instalată P_i poate fi redusă;

$P_{ra} = P_a$, ceea ce înseamnă că P_i a fost corect dimensionată;

$P_{ra} < P_a$, în care caz este necesară suplimentarea puterii de rezervă.

Se menționează că această analiză privind acoperirea puterii probabil avariate cu puterea de rezervă pentru preluarea avariei se face numai pentru zilele lucrătoare, fiind acoperitoare pentru zilele de sărbătoare.

Pentru examinarea posibilităților de acoperire integrală a puterii probabil avariate și în cel din urmă caz, este necesar să se determine mărimea și durata de folosire a suplimentului de rezervă la putere.

Mărimea suplimentului de rezervă de putere rezultă din diferența $P_a - P_{ra}$.

Durata de folosire a suplimentului de rezervă este timpul în care $P_a > P_{ra}$; acest supliment este necesar numai în anumite zile din an,

*) Redacția revistei supune discuției cititorilor prezentul articol, avînd în vedere importanța problemelor ridicate și premisele de la care pleacă autorii.

Deoarece pot exista și alte păreri asupra modului în care se poate realiza „acoperirea puterii probabil avariate cu rezerva de putere pentru preluarea avariei", prin punerea în discuție a problemelor și eventuala publicare a părerilor competente ale cititorilor se va aduce o contribuție valoroasă în acest domeniu.

**) I.C. Staicu este șef de atelier la ISPE; A. Mitroi este proiectant principal la același institut.

iar durata lui de folosire este determinată de variația sarcinii din zilele respective.

Pentru depistarea zilelor în care $P_a > P_{ra}$, se iau în considerare sarcinile maxime săptămînale, pentru toate săptămînile din an, și se determină diferențele de sarcină față de sarcina maximă $P_{max.l}$ a lunii respective. Se compară P_a, care a fost calculată pentru fiecare lună, cu suma dată de P_{ra} și diferențele de sarcină respective. Se reține săptămînile în care P_a depășește această sumă. Pe aceste baze rezultă că trebuie reținute 12 săptămîni, care determină sarcinile maxime lunare, și eventual alte săptămîni.

Pentru săptămînile reținute se depistează, urmînd același procedeu, toate zilele dintr-un an pentru care P_a nu poate fi acoperită de $P_{ra} + P_{max.l} - P_{max.z}$, notația $P_{max.z}$ fiind pentru sarcina maximă zilnică. Pe aceste baze se reține 12 zile anual (categoria *a*), cîte o zi din fiecare lună, corespunzător vîrfului lunar, și alte n zile anual (categoria *b*), pentru care vîrful sarcinii este inferior vîrfului lunar.

Pentru cele două categorii de zile sînt respectiv valabile următoarele relații :

$$P_{ra} < P_{a\ max.}$$

$$P_{ra} + P_{max.l} - P_{max.z} < P_{a\ max.},$$

în care:

$P_{a\ max.}$ reprezintă puterea avariată maximă.

În figura 2 se prezintă acoperirea puterii probabil avariate pentru o zi cu vîrf de putere avariată.

4. **Deficitul de putere.** Cota din puterea avariată, egală cu diferența $P_a - P_{ra}$, conduce

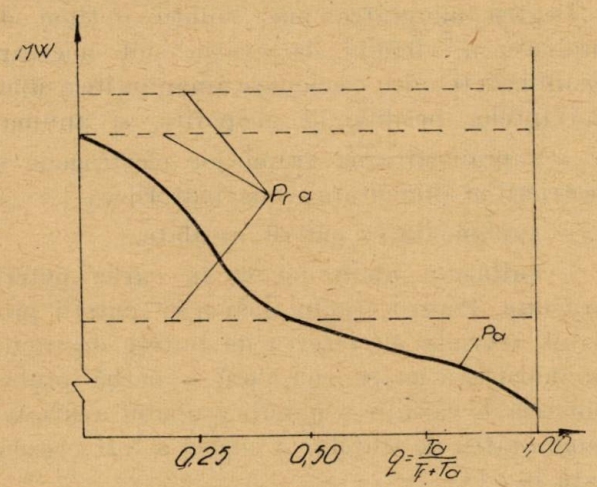


Fig. 2. Acoperirea puterii probabil avariată cu putere de rezervă pentru avarii :
— putere probabil avariată (P_a); – – – putere de rezervă pentru avarii (P_{ra})

la un deficit de putere, respectiv de energie electrică.

În figura 3 se scoate în evidență deficitul de putere pentru cazul zilelor în care vîrful sarcinii

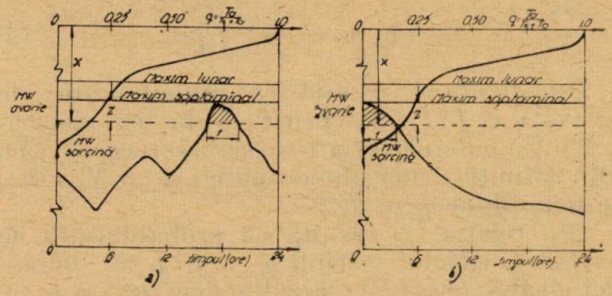


Fig. 3. Deficitul de putere și energie electrică :
a — pentru sarcina orară cronologic ; *b* — pentru sarcina orară clasată.

este inferior vîrfului lunar ; în mod corespunzător, se prezintă și cazul celor 12 zile la care vîrful sarcinii determină vîrful lunar. Sarcina zilnică este prezentată cronologic în figura 3 *a* și clasat în figura 3 *b*.

La o valoare momentană X a puterii probabil avariate rezultă un deficit de putere Z cu durata t. Mărimea Z a deficitului de putere variază între zero (cînd $P_a = P_{ra}$, pentru categoria *a* de zile, și $P_a = P_{ra} + P_{max.l} - P_{max.z}$, pentru categoria *b* de zile) și o valoare maximă (corespunzătoare valorii maxime a puterii probabil avariate). Durata t a deficitului de putere poate lua valori cuprinse teoretic între zero (corespunzător sarcinii maxime) și o valoare maximă (corespunzător valorii maxime a puterii avariate).

Apariția deficitului de putere este evidențiată în grafice de suprapunere a unei cote din puterea probabil avariată peste sarcina sistemului.

Probabilitatea q_z a deficitului de putere Z rezultă ca produsul dintre probabilitatea corespunzătoare mărimii X a puterii probabil avariate q_x și probabilitatea q_{vs} de a avea un vîrf de sarcină mai mare ca $P_{max.l} + P_{ra} - X$. Valoarea q_x rezultă din diagrama puterii probabil avariate (fig. 1), iar valoarea q_{vs} se calculează cu relația:

$$q_{vs} = \frac{\sum_{i=1}^{=12+n} t_i}{T}, \qquad (2)$$

în care:

t_i este durata deficitului de putere din ziua i,

T — durata totală a etapei analizate.

Rezultă deci că probabilitatea deficitului de putere

$$q_z = q_x \; q_{vs} = q_x \cdot \frac{\sum_{i=1}^{i=12+n} t_i}{T}. \qquad (3)$$

Din figura 1 rezultă că probabilitatea de avarie $q = f(P_a)$, iar pentru valoarea momentană X a puterii avariate se poate scrie $q_x = f(X)$. Din definiţia deficitului de putere $Z = X - P_{ra}$, se mai obţine $q_x = f(Z)$.

Din relaţia (2) rezultă că probabilitatea de avarie a vîrfului sarcinii $q_{vs} = f(t_i)$, iar durata deficitului $t_i = f(Z)$; rezultă deci că şi $q_{vs} = f(Z)$.

Pe aceste baze şi ţinînd seama de (3) se obţine că probabilitatea deficitului de putere

$$q_z = f(Z). \qquad (4)$$

În figura 4 se reprezintă variaţia deficitului probabil de putere Z în sistemul de coordonate cu q_z în ordonată.

5. **Deficitul de energie.** Deficitul de putere Z conduce în timpul t la un deficit de energie E_z, a cărui valoare este condiţionată de alura curbei de sarcină.

În figura 4 este reprezentată variaţia deficitului de energie în sistemul de coordonate cu E_z în ordonată. Curba se trasează prin puncte pentru diverse valori ale deficitului de putere, valoarea E_z rezultînd din relaţia

$$E_z = \sum_{i=1}^{i=12+n} \alpha_i \, Z_i \, t_i \,, \qquad (5)$$

în care factorul α scoate în evidenţă alura diferită a curbelor de sarcină. Valorile necesare pentru trasarea curbei se obţin prin planimetrare.

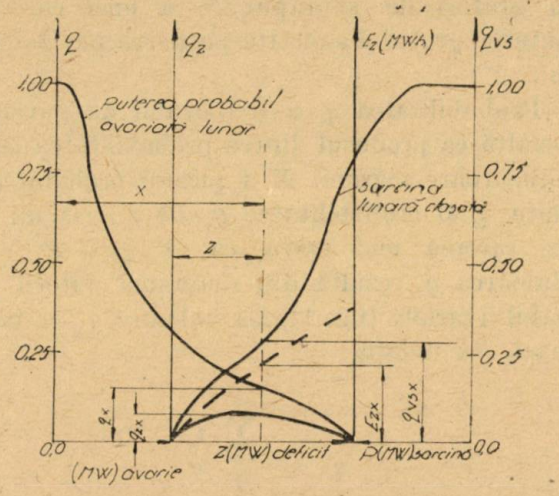


Fig. 4. Deficitul probabil de putere.

6. **Acoperirea vîrfului puterii avariate.** Probabilitatea vîrfului de avarie este foarte mică, fiind condiţionată de avarierea unei puteri maxime simultane cu vîrful maxim de sarcină în sistemul energetic.

Pe această concluzie se fundamentează posibilităţile de acoperire a vîrfului de putere avariată prin supraîncărcarea grupurilor electrogene şi reducerea sarcinii sistemului prin restricţii în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Supraîncărcarea grupurilor electrogene se defineşte (STAS 2551—64) ca diferenţa pozitivă dintre puterea produsă şi puterea efectiv utilizabilă în funcţiune. Cota de putere care poate fi produsă prin suprasarcină poate fi obţinută numai de la grupurile care nu sînt scoase din funcţiune pentru reparaţii şi se stabileşte, analizînd fiecare grup electrogen în parte, pentru toate lunile anului. La funcţionarea în regim de suprasarcină sînt necesare cheltuieli de exploatare suplimentare deoarece randamentul se reduce.

Restricţiile în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor se realizează fie automat în raport cu frecvenţa, fie manual de către personalul de exploatare pentru prevenirea scăderii frecvenţei la valorile critice. În ambele cazuri poate să rezulte o diminuare a producţiei de bunuri materiale. Reducerea sau suprimarea alimentării cu energie electrică se aplică consumatorilor care nu conduc la diminuarea producţiei (sau dacă apare o reducere poate fi recuperată). În legătură cu aceasta, trebuie să se cunoască succesiunea cea mai raţională de declanşare a consumatorilor pentru cazurile de avarie.

Pentru adoptarea unei soluţii optime de preluare a vîrfului de avarie sînt necesare examinări tehnico-economice amănunţite asupra variantelor posibile de acoperire, şi anume:

— supraîncărcarea grupurilor electrogene şi restricţii în alimentarea consumatorilor;

— suplimentarea puterii instalate.

7. **Influenţa abaterilor de la curba puterii avariate.** Pentru studiul acoperirii puterii probabil avariate cu rezerva de putere destinată preluării avariei se consideră o curbă probabilistică de variaţie a puterii probabil avariate; modalitatea de stabilire a curbei a fost prezentată în [1].

În timpul exploatării pot să apară variaţii de la curba considerată în studiu, valorile momen-

tane ale puterii avariate înregistrînd creşteri sau reduceri faţă de valoarea rezultată din curbă.

Unele variaţii în plus ale puterii avariate, care se produc în afara vîrfului de sarcină electrică, nu conduc la creşterea vîrfului de putere avariată care să depăşească vîrful maxim de putere avariată, corespunzător curbei probabilistice considerate.

Variaţiile în plus ale puterii avariate care se produc simultan cu vîrful sarcinii electrice şi care la rîndul ei ar putea să înregistreze, de asemenea, o creştere faţă de curba probabilistică a sarcinii considerate în calcule pot să depăşească vîrful maxim de putere avariată corespunzător curbei probabilistice considerate. Probabilitatea de producere simultană a acestor evenimente este extrem de redusă. În acest caz se va face un apel şi mai mare la supraîncărcarea grupurilor electrogene şi se vor mări restricţiile în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Bibliografie

[1] Staicu, I.C., Mitroi, A. şi Teacă, A. *Problema siguranţei în exploatare a unui sistem energetic. Evaluarea puterii probabil avariate şi a rezervei de putere pentru preluarea avariei* (I). Energetica, 16, nr. 1, 1968, p. 27—31.

(Articol intrat în redacţie la 19 iunie 1968)

—— o ——

Metodă informaţională pentru colectarea, stocarea şi utilizarea caracteristicilor statistice ale incidentelor de exploatare din sistemul energetic

Ing. *I. Mihai* şi ing *E. Costin**)

În condiţiile măririi eficienţei economice şi a organizării ştiinţifice a activităţii în toate compartimentele sectorului energetic, a apărut tot mai frecvent necesitatea adîncirii şi sistematizării analizelor ce au loc cu ocazia apariţiei de evenimente nedorite în funcţionarea instalaţiilor energetice [1].

Funcţionarea instalaţiilor sistemului energetic a implicat întotdeauna analizarea fenomenelor perturbatoare care apar, practic inevitabil, în timpul funcţionării. Personalul specializat în efectuarea acestor analize a fost confruntat, în special în perioada de dezvoltare rapidă a electrificării ţării, cu necesitatea ca, pe lîngă analizarea individuală a fenomenelor menţionate, să poată în orice moment să-şi contureze o imagine generală a modului în care se comportă diverse tipuri de instalaţii, a modului în care evoluează diverse caracteristici ale sistemului, a modului în care se aplică practic diverse soluţii tehnice etc. Prin aceasta, rezultă că personalul însărcinat cu analiza incidentelor ce apar în instalaţii are de fapt două atribuţii distincte:

— analizarea individuală a incidentelor în scopul lămuririi circumstanţelor producerii şi al luării de măsuri individuale în cazul dat;

— cercetarea de ansamblu a condiţiilor care favorizează apariţia şi dezvoltarea incidentelor în general şi pe categorii.

Dacă prima atribuţie se referă la analizele individuale care necesită numai cunoştinţe tehnice de specialitate, a doua atribuţie, în schimb, impune organizarea şi sistematizarea unui volum important de informaţii şi necesită, în afara cunoştinţelor tehnice, cunoştinţe legate de tratarea statistică a evenimentelor individuale.

Sistemul de analiză a incidentelor de exploatare introdus în practică din 1953, într-o perioadă caracterizată prin rapida dezvoltare a energeticii ţării noastre, corespundea nivelului tehnic de atunci, care necesita analiza cu precădere a evenimentelor cu consecinţe grave imediate. Acest mod de analiză, care neglija aspectele statistice ale muncii de analiză a incidentelor, a fost practicat un timp relativ îndelungat. Abia în perioada anilor 1965—1966 au început să se contureze cu claritate lipsurile de care această metodă suferea: analizele individuale se efectuau după o structură întîmplătoare, fără a se preciza anumite noţiuni strict necesare pentru generalizare; prin aceasta, analizele nu erau comparabile şi de aceea nu permiteau stabilirea unor concluzii generale, singurele ce pot servi ca bază pentru influenţarea activităţilor de proiectare, de construcţii

*) Ing. Mihai Ilie este şeful serviciului Inspecţia de avarii din M.E.E.; Emil Costin este inginer şef de atelier la ISPE.

de echipament şi aparataj, de reparaţii şi de exploatare.

1. **Principiile metodei de analiză complexă a incidentelor de exploatare.** Cercetarea modului în care alte ţări tratează obţinerea, prelucrarea şi utilizarea informaţiilor legate de incidentele din exploatarea sistemului energetic, combinată cu luarea în considerare a particularităţilor specifice ţării noastre, a permis să se elaboreze un nou sistem de colectare, stocare şi utilizare a caracteristicilor statistice privind incidentele de exploatare din sistemul energetic. La elaborarea acestui nou sistem au fost avute în vedere multiplele posibilităţi create de folosirea complexă a utilajelor moderne pentru tratarea mecanizată şi automatizată a informaţiilor : maşini statistice cu cartele perforate, calculatoare electronice cifrice.

Cu ocazia elaborării sistemului informaţional prezentat a fost consultată o bibliografie numeroasă [2—18], care a permis crearea unei imagini a modului în care se rezolvă această problemă în diferite ţări.

În vederea elaborării unei metodologii, care urma să elimine punctele slabe ale modului de lucru existent, au fost stabilite anumite linii directoare, care trebuiau să asigure eficienţa tehnică, organizatorică şi economică a noii orientări [19].

Aceste linii directoare au fost :

1. Legea activităţii de analiză a incidentelor de exploatare, în mod nemijlocit, de activitatea de producţie. În acest sens, evenimentele nedorite, care apar în instalaţii, sînt analizate în mod direct de către personalul care răspunde de buna funcţionare a instalaţiilor.

Acest principiu vine în contradicţie cu sistemul, încetăţenit în trecut, de a efectua analizele incidentelor sub conducerea şi la imboldul unui for care are drept unică atribuţie analiza incidentelor. Existenţa acestui for dotat cu astfel de atribuţii nu contribuie decît la diluarea răspunderilor, atît pentru analizarea incidentelor, cît şi pentru funcţionarea sigură a instalaţiilor în general.

2. Unificarea modului de interpretare a tuturor datelor culese cu ocazia analizării individuale a incidentelor. Prin aceasta se creează posibilitatea de a evalua cantitativ elementele rezultate din analize şi creşte substanţial gradul de veridicitate a analizelor. Efectuarea analizelor după scheme predeterminate în mod amănunţit favorizează eliminarea subiectivismului din analize, creează premisele comparabilităţii rezultatelor şi asigură obţinerea unui material informaţional bogat din aceste analize.

3. Evidenţierea cît mai obiectivă a implicaţiilor economice ale incidentelor ce apar în exploatare. Prin aceasta se înţelege că, pe lîngă stabilirea energiei electrice şi termice nelivrabile, se evidenţiază şi celelalte implicaţii economice ale incidentelor : costuri ale reparaţiilor şi altele.

Aceste elemente sînt strict necesare pentru evaluarea economică a gradului de siguranţă cu care trebuie dotate instalaţiile electrice ale consumatorilor, în vederea dimensionării optime din punct de vedere tehnic şi economic a sistemului energetic în ansamblu.

4. Înregistrarea separată a deteriorării echipamentelor cu ocazia incidentelor de exploatare. În acest mod se obţine şi se sistematizează materialul informaţional necesar analizării comportării în exploatare a echipamentelor energetice de cele mai diverse provenienţe. Concluziile acestei analize servesc atît ameliorării calitative a utilajelor produse de industria indigenă, cît şi orientării asupra alegerii echipamentelor de import.

5. Reducerea substanţială a formularisticii şi documentaţiilor legate de analizele incidentelor de exploatare, prin introducerea unor formulare uşor de completat, a căror întocmire să nu afecteze practic timpul disponibil al personalului de exploatare.

Elaborarea corespunzătoare a modului de întocmire a fişelor incidentelor de echipamente deteriorate a urmărit obţinerea următoarelor rezultate principale :

a) prevenirea analizării superficiale a incidentelor, prin răspunsurile pe care le necesită întrebările prevăzute corespunzător ;

b) eliminarea practică a posibilităţilor de a prezenta date incorecte, prin corelaţia care trebuie să existe între răspunsurile la diversele întrebări puse ;

c) obţinerea unui volum însemnat de date precise legate de incidentele de exploatare creează posibilitatea mecanizării acestei evidenţe statistice, stocarea informaţiilor şi utilizarea lor în orice moment ;

d) posibilitatea întocmirii periodice, pe baza mecanizării tratării informaţiilor, a unor buletine de informare statistică a forurilor interesate asupra incidentelor.

2. **Precizarea unor noţiuni utilizate.** Tratarea statistică a informaţiilor (ca de altfel în orice domeniu al tehnicii) necesită extragerea din analiza fiecărui eveniment individual a unui număr relativ însemnat de date, care trebuie să fie comparabile statistic. Pentru a obţine aceste rezultate este necesar ca fiecare grupă de date să corespundă unei anumite noţiuni predeterminate, precis individualizată şi riguros delimitată.

La definirea noţiunii de incident de exploatare (în continuare, prescurtat incident) au fost avute în vedere două considerente :

— cuprinderea cît mai largă a fenomenelor perturbatoare care apar în instalaţii ;

— delimitarea cît mai precisă a evenimentului — unitate de înregistrare.

Prin urmare, se consideră *incident* orice perturbare în instalațiile energetice aflate în funcțiune sau în rezervă, care are ca urmare modificarea nedorită a regimului de funcționare existent, chiar dacă aceasta nu este însoțită de întreruperi în alimentarea consumatorilor, de deteriorări de utilaje sau de variații ale parametrilor caracteristici.

Prin stabilirea acestei definiții, s-a căutat a se cuprinde toate fenomenele care pot avea efecte negative asupra celor trei parametri caracteristici ai calității energiei electrice (continuitate în alimentare, tensiune și frecvență) și termice (continuitate în alimentare, presiune, temperatură).

Delimitarea noțiunii de incident întîmpină următoarea dificultate importantă :

Modificarea nedorită a regimului existent al instalațiilor are loc pe două căi distincte, și anume : în mod brusc, prin apariția accidentală a unui punct slab în instalații, sau în mod lent, prin uzura normală a instalațiilor în timpul funcționării acestora.

Schimbarea parametrilor datorită uzurii normale care se produce între două reparații planificate nu este luată în considerare în noțiunea de incident. În schimb, modificările nedorite care au ca urmare reparații accidentale (neprevăzute în planurile normale de reparații) sînt incluse în definiția incidentului, indiferent dacă oprirea instalațiilor a avut loc imediat după constatarea defecțiunii, sau dacă între constatarea defecțiunii și oprire a trecut un timp oarecare.

Precizarea definiției de unitate de înregistrare a unui incident întîmpină dificultăți, deoarece situațiile practice prezintă o mare varietate, în care se întîlnesc adesea întrepătrunderi de incidente, sau incidente care se condiționează unele pe altele.

De aceea, pentru delimitarea granițelor care separă un incident de restul evenimentelor, a fost necesar să se recurgă la trei noțiuni suplimentare :

— locul incidentului (instalația principală afectată) ;

— prilejul incidentului ;

— cauza incidentului ;

Coexistența simultană în cadrul aceluiași eveniment, petrecut într-un singur loc, a unui singur prilej cu o singură cauză reprezintă delimitarea considerată acceptabilă pentru unitatea de înregistrare — incident.

Apariția oricărui incident este legată de un ansamblu de factori, din care o parte sînt exteriori fenomenului și ceilalți îi sînt intrinseci.

Definirea circumstanțelor în care au loc incidentele de exploatare trebuie să țină seamă de toate aceste aspecte și să le poată evidenția în mod distinct. Aceasta este cauza pentru care s-a găsit necesar ca, printre circumstanțele legate de incidente, să se facă o distincție netă între *prilejul incidentului* și *cauza incidentului*.

Prin *prilej al incidentului* se subînțelege circumstanța exterioară fenomenului propriu-zis. În cazul general, instalațiile energetice sînt concepute să nu depindă de aceste circumstanțe. Dacă un incident are totuși loc, înseamnă că pe lîngă aceste circumstanțe exterioare au existat și alte circumstanțe nedorite, proprii fenomenului, care, contrar modului de concepție a instalațiilor, au determinat scoaterea acestora din funcțiune. Aceste circumstanțe proprii, interne, nedorite, reprezintă *cauza incidentului*.

De exemplu, în condiții de ploaie puternică, însoțită de vînt în rafale, declanșează o linie de 110 kV, la defect pasager (repusă în circuit, rămîne în funcțiune). Prilejul îl constituie condițiile meteorologice existente în momentul incidentului, dar cauza este echiparea necorespunzătoare a liniei, care a permis ca balansul conductoarelor să determine apariția străpungerii intervalului dintre faze (sau dintre o fază și stîlp).

Alt exemplu este următorul : la o turbină aflată în funcțiune cu sarcină redusă, în timpul manevrelor de încărcare programată, se constată zgomote și vibrații puternice. După oprirea și cercetarea mașinii, se constată o deplasare axială nepermisă, care a condus la deteriorarea unor rînduri de palete. Deplasarea axială a avut loc din cauza presiunii insuficiente în circuitul de ungere. Prilejul îl constituie manevrele de încărcare programată, iar cauza este uzura exagerată a pompei de ulei.

Excepție de la cele expuse aci sînt fenomenele deosebit de rare (de exemplu, viteza vîntului superioară celei prevăzute în norme, valoarea curentului de trăsnet indus mai mare decît cea considerată în prescripțiile de dimensionare a protecției împotriva supratensiunilor atmosferice etc.), față de care instalațiile nu sînt dimensionate să reziste. În aceste cazuri, este evident că circumstanțele exterioare sînt aceleași cu cele proprii, interne, prilejul și cauza incidentului coincid.

Evidențierea separată a „prilejului" de „cauză", la incidente, este menită să determine analizarea mai profundă a fenomenelor care au loc, să conducă la descoperirea măsurilor celor mai adecvate care trebuie inițiate spre a crea într-adevăr condițiile ca, în cazuri similare, să nu mai fie posibilă repetarea incidentului.

Desigur că delimitarea între „prilej" și „cauză" la un incident poate prezenta, în anumite cazuri concrete, o oarecare dificultate pentru personalul care efectuează analizele. Analizarea conștiincioasă a unor asemenea fenomene poate să impună investigații suplimentare. Efectul acestor investigații se regăsește însă în mod obligatoriu în măsurile care rezultă a fi

luate pentru prevenirea repetării unor cazuri similare.

3. **Codificarea și tratarea informațiilor.** Stabilirea amănunțită a noțiunilor legate de interpretarea diverselor aspecte ale incidentelor permite uniformizarea analizei acestora. Dar elementul care transformă această posibilitate în condiție obligatorie și asigură tratarea unitară a informațiilor ce provin din incidente este introducerea codificării acestor informații. Codificarea devine posibilă numai prin stabilirea anticipată a tuturor posibilităților independente, care există în mod practic, de a răspunde unei anumite întrebări legate de incident.

În acest fel analiza oricărui incident trebuie să răspundă unui număr oarecare de întrebări dinainte precizate, care se referă la toate aspectele principale ale incidentului ce urmează a fi evidențiate. La fiecare întrebare se stabilește un număr fix de posibilități de răspuns diferite, iar fiecărei posibilități de răspuns îi corespunde un număr din codul elaborat în acest scop (v. anexa).

Astfel, răspunsurile pe care le necesită analiza unui anumit incident pot fi prezentate atît în cuvinte, cît și sub forma unui număr format din mai multe cifre (în cazul ales pentru acest cod, un număr de 80 cifre), în care fiecare cifră (sau eventual grupă de 2 — 6 cifre) prezintă o semnificație logică precisă, traductibilă în cuvinte.

Reprezentarea numerică a elementelor logice obținute din analiza incidentelor (codificarea) a fost considerată necesară pentru a permite efectuarea analizelor statistice cu ajutorul mijloacelor moderne de calcul (mașini statistice electromecanice sau calculatoare electronice cifrice).

În cazul utilizării mașinilor statistice electromecanice, datele culese dintr-un incident și codificate corespunzător sînt transpuse prin perforare pe cartelă standardizată de 80 coloane.

4. **Analiza deteriorării utilajelor energetice.** În multe cazuri incidentele sînt însoțite de deteriorări ale unor echipamente care compun fluxul tehnologic de producere, transport și de distribuție a energiei electrice și a căldurii.

Analiza siguranței în funcționare a instalațiilor energetice, ca și dimensionarea siguranței de funcționare a instalațiilor noi, care are loc cu ocazia proiectării, se bazează tocmai pe analizele statistice ale modului de comportare în exploatare a echipamentelor de diverse tipuri și proveniențe.

Pentru obținerea de informații suficiente, în scopul satisfacerii condițiilor de mai sus, a fost considerată necesară efectuarea unei analize a fiecărei deteriorări în parte. Această analiză a fost concepută să parcurgă aceleași etape ca și analiza incidentelor. Fiecare deteriorare de echipament se înregistrează într-o fișă care conține elementele necesare analizei statistice.

În vederea analizei statistice s-a recurs și în acest caz la codificarea informațiilor, utilizîndu-se tot cartele cu 80 coloane pentru prelucrarea statistică cu mașini electromecanice. Codul elaborat pentru utilajele deteriorate este similar cu cel al incidentelor.

5. **Unele rezultate ale statisticii incidentelor.** Pentru ilustrarea posibilităților, deosebit de vaste, pe care le creează metoda propusă, în direcția aprofundării analizelor, și a obținerii de informații legate de funcționarea instalațiilor, în cele ce urmează se vor prezenta unele rezultate și concluzii statistice generale ale analizării informațiilor legate de incidentele ce au avut loc în 1967 și 1968.

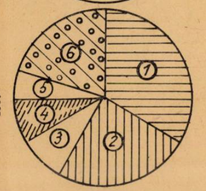
Tabela 1

Caracteristicile principale ale comportării instalațiilor aparținînd celor două grupe de întreprinderi (centrale și rețele) în anii 1967 și 1968

Nr. crt.	Caracteristici	Anul	În întrepr. de centrale	În întrepr. de rețele	Sistem
1	Numărul incidentelor, %	1967	6,66	93,34	100,00
		1968	11,81	88,19	100,00
2	Energia electrică nelivrabilă consumatorilor, %	1967	11,46	88,54	100,00
		1968	2,37	97,63	100,00
3	Durata indisponibilității instalațiilor, %	1967	16,93	83,07	100,00
		1968	34,67	65,33	100,00
4	Energia electrică specifică, kWh/inc.	1967	1175,66	648,32	683,44
		1968	740,93	569,48	589,73
5	Durata specifică, min/inc.	1967	889,73	311,57	350,07
		1968	1134,57	286,38	373,17
6	Influența asupra consumatorilor, kWh/min.	1967	1,32	2,08	1,95
		1968	0,65	1,99	1,58

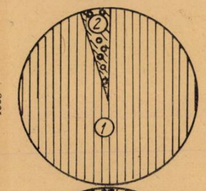
În tabela 1 este prezentată situația din 1967 și 1968 pe două grupe de întreprinderi (centrale și rețele). Din datele referitoare la numărul de incidente din centrale se constată, în anul 1967,

21. Furnizor extern de echipament electric 1967

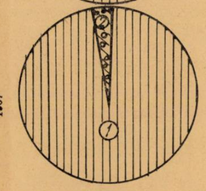


1	33,21 %	Utilaj în sarcină
2	25,33 %	Descărcări atmosferice
3	8,45 %	Ceață, rouă
4	8,07 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
5	4,88 %	Puneri la pămînt în rețelele cu neutrul izolat
	79,94 %	Total
6	20,06 %	Rest

84. Supratensiuni de natură atmosferică 1967

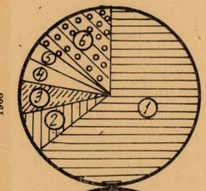


1	95,83 %	Descărcări atmosferice
2	4,17 %	Rest

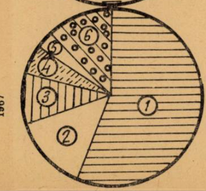


1	97,93 %	Descărcări atmosferice
2	2,07 %	Rest

99. Cauza neidentificată 1967

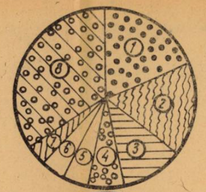


1	64,77 %	Utilaj în sarcină
2	7,34 %	Descărcări atmosferice
3	5,77 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
4	4,23 %	Încadrări greșite
5	3,17 %	Suprasarcină provocată de un scurtcircuit în rețea
	85,28 %	Total
6	14,72 %	Rest



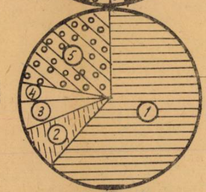
1	56,43 %	Utilaj în sarcină
2	13,61 %	Încadrări greșite
3	9,83 %	Descărcări atmosferice
4	5,13 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
5	2,88 %	Suprasarcină provocată de un scurtcircuit în rețea
	87,88 %	Total
6	12,12 %	Rest

91. În afara instalațiilor proprii 1967



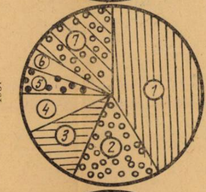
1	19,34 %	Incident în rețeaua energetică vecină (din țară
2	16,56 %	Incident la consumatori
3	14,12 %	Acțiuni ale unor persoane străine
4	14,12 %	Acțiuni ale animalelor, păsărilor
5	8,72 %	Utilaj în sarcină
6	4,87 %	Încadrări greșite
7	4,35 %	Instabilitate, pendulații, șocuri de sarcină
8	2,97 %	Suprasarcină provocată de un scurtcircuit în rețea
	85,05 %	Total
9	14,95 %	Rest

71. Obosire fizico-mecanică 1968



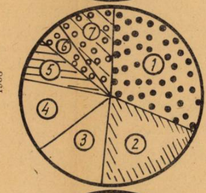
1	61,59 %	Utilaj în sarcină
2	8,16 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
3	5,43 %	Alte manevre programate
4	2,71 %	Pornirea utilajului
	77,89 %	Total
5	22,11 %	Rest

82. Suprasolicitarea tehnică 1967

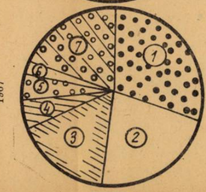


1	41,30 %	Descărcări atmosferice
2	14,98 %	Acțiuni ale animalelor, păsărilor
3	11,33 %	Utilaj în sarcină
4	7,28 %	Suprasarcină în limitele admise de utilaj
5	4,85 %	Acțiuni ale unor persoane străine
6	2,83 %	Suprasarcină provocată de un scurtcircuit în rețea
	82,57 %	Total
7	17,43 %	Rest

83. Suprasolicitarea mecanică 1968

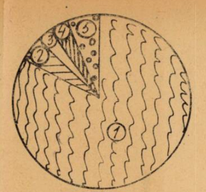


1	31,55 %	Acțiuni ale unor persoane străine
2	19,75 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
3	13,12 %	Viscol
4	13,04 %	Îngheț, chiciură, polei, zai
5	7,37 %	Utilaj în sarcină
6	3,37 %	Acțiuni ale animalelor, păsărilor
	88,20 %	Total
7	11,80 %	Rest

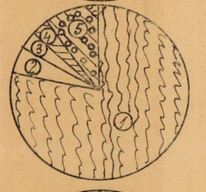


1	29,65 %	Acțiuni ale unor persoane străine
2	21,95 %	Îngheț, chiciură, polei, zai
3	17,47 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
4	4,72 %	Utilaj în sarcină
5	4,26 %	Acțiuni ale animalelor, păsărilor
6	2,88 %	Deplasare teren, cutremur
	80,93 %	Total
7	19,07 %	Rest

92. În instalațiile consumatorului 1967

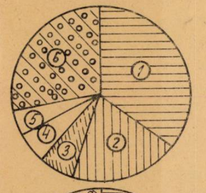


1	81,62 %	Incident la consumatori
2	4,44 %	Utilaj în sarcină
3	3,36 %	Suprasarcină provocată de un scurtcircuit în rețea
4	3,00 %	Descărcări atmosferice
	92,42 %	Total
5	7,58 %	Rest

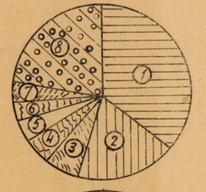


1	78,99 %	Incident la consumatori
2	4,87 %	Suprasarcină provocată de un scurtcircuit în rețea
3	3,07 %	Suprasarcină în limitele admise
4	2,95 %	Utilaj în sarcină
	89,88 %	Total
5	10,12 %	Rest

23. Furnizor intern de echipament electric 1968

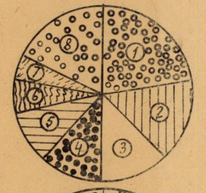


1	32,33 %	Utilaj în sarcină
2	19,78 %	Descărcări atmosferice
3	6,74 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
4	5,61 %	Dispozitive de acționare
5	4,55 %	Protecția prin relee a instalațiilor electrice
	69,01 %	Total
6	30,99 %	Rest

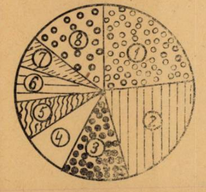


1	35,62 %	Utilaj în sarcină
2	18,87 %	Descărcări atmosferice
3	6,44 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
4	5,37 %	Incident la consumatori
5	3,82 %	Ceață, rouă
6	3,75 %	Puneri la pămînt în rețelele cu neutrul izolat
7	3,69 %	Dispozitive de acționare
	77,56 %	Total
8	22,44 %	Rest

81. Suprasolicitarea electrică 1967

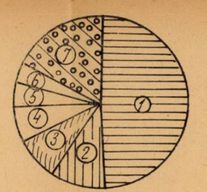


1	22,45 %	Acțiuni ale animalelor, păsărilor
2	15,42 %	Descărcări atmosferice
3	12,57 %	Suprasarcină provocată de un scurtcircuit în rețea
4	11,25 %	Acțiuni ale unor persoane străine
5	10,34 %	Utilaj în sarcină
6	5,39 %	Incident la consumatori
7	4,52 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
	81,94 %	Total
8	18,06 %	Rest

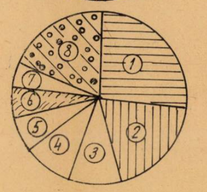


1	22,78 %	Acțiuni ale animalelor, păsărilor
2	22,57 %	Descărcări atmosferice
3	11,98 %	Acțiuni ale unor persoane străine
4	8,99 %	Suprasarcină provocată de un scurtcircuit în rețea
5	7,18 %	Incident la consumatori
6	6,62 %	Utilaj în sarcină
7	5,29 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
	85,41 %	Total
8	14,59 %	Rest

72. Îmbătrînirea izolației electrice 1968



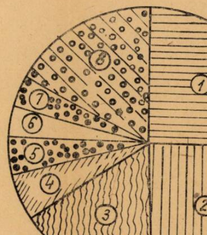
1	49,77 %	Utilaj în sarcină
2	10,02 %	Descărcări atmosferice
3	7,68 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
4	6,37 %	Contaminarea izolației
5	4,59 %	Puneri la pămînt în rețelele cu neutrul izolat
6	2,90 %	Ceață, rouă
	81,33 %	Total
7	18,67 %	Rest



1	25,99 %	Utilaj în sarcină
2	19,24 %	Descărcări atmosferice
3	9,86 %	Puneri la pămînt în rețelele cu neutrul izolat
4	9,53 %	Contaminarea izolației
5	6,25 %	Ceață, rouă
6	5,59 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
7	4,60 %	Încadrări greșite
	81,06 %	Total
8	18,94 %	Rest

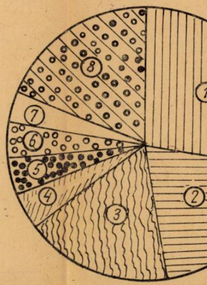
Structura pe prilejuri a incidentelor importante

Incidentele din cele 10 cauze importante 1968



1	25,09 %	Utilaj în sarcină
2	24,23 %	Descărcări atmosferice
3	16,71 %	Incidente la consumatori
4	5,17 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
5	4,39 %	Acțiuni ale unor persoane străine
6	3,21 %	Suprasarcină provocată de un scurtcircuit în rețea
7	3,17 %	Acțiuni ale animalelor, păsărilor
	81,97 %	Total
8	18,03 %	Rest

1967



1	27,48 %	Descărcări atmosferice
2	19,68 %	Utilaj în sarcină
3	17,34 %	Incident la consumatori
4	4,52 %	Ploaie, vînt puternic, furtună
5	4,39 %	Acțiuni ale unor persoane străine
6	4,30 %	Acțiuni ale animalelor, păsărilor
7	3,60 %	Încadrări greșite
	81,31 %	Total
8	18,69 %	Rest

că, deşi numărul incidentelor reprezintă numai 6,66% din total pe sistem, gravitatea medie a fiecărui incident evaluată prin energia electrică specifică (kWh/inc.) şi durata specifică (min/inc.) sînt mult mai mari la întreprinderile de centrale faţă de întreprinderile de reţele (de 1,81 ori la energie electrică specifică şi de 2,85 ori la durată specifică). În anul 1968, la centrale, creşte însă numărul incidentelor, reprezentate în % din total, rezultînd 11,81%, se reduce energia electrică specifică, fiind de 1,3 ori mai mare faţă de întreprinderile de reţele, în schimb creşte durata specifică a incidentelor, rezultînd de 4 ori mai mare faţă de întreprinderile de reţele.

Tot în tabela 1 se evidenţiază că incidentele din anul 1968 au afectat consumatorii mai puţin faţă de 1967. După cum rezultă din caracteristica „influenţa asupra consumatorilor", la centrale scade cu circa 50%, la reţele cu circa 5%, iar pe sistem cu 19%.

Din analiza repartiţiei incidentelor din centrale şi reţele pe orele zilei rezultă că la unităţile de centrale electrice zona de maximum de incidente apare dimineaţa între orele 6 şi 7, în timp ce la reţele acest maxim se evidenţiază între orele 15 şi 16.

În tabela 2 sînt prezentate primele 10 cauze importante din cele 38 prevăzute de metodologia aplicată, selectate astfel în funcţie de analiza simultană a caracteristicilor. Se constată că din cele 10 cauze importante ale incidentelor din 1967, 9 se regăsesc printre cele 10 cauze importante în 1968, şi în anul 1968 se polarizează mai multe incidente în jurul unor cauze importante (87% faţă de 1967, cînd erau 79,43%).

În continuare, un interes deosebit pentru analiza comportării instalaţiilor l-a prezentat structura prilejurilor care sînt legate de cauzele importante ale incidentelor din 1967 şi 1968. Această structură a prilejurilor este redată în planşă.

Tabela 2

Situaţia comparativă a cauzelor importante din sistem (1967 faţă de 1968)

1967				1968			
Ordinea importanţei	Cod	Denumirea cauzelor importante în sistem selectate după 6 criterii	% din total incidente	Ordinea importanţei	Cod	Denumirea cauzelor importante în sistem selectate după 6 criterii	% din total incidente
1	83	Suprasolicitarea mecanică	5,23	1	21	Furnizor extern de echip. electric	4,0
2	21	Furnizor extern de echip. electric	3,20	2	84	Supratensiuni de natură atmosf.	14,6
3	82	Suprasolicitarea termică	1,49	3	99	Cauza neidentificată	14,0
4	84	Supratensiuni de natură atmosf.	14,22	4	91	În afara instalaţiilor proprii	4,4
5	23	Furnizor intern de echip. electric	9,63	5	71	Obosire fizico-mecanică	6,3
6	81	Suprasolicitarea electrică	8,63	6	83	Suprasolicitarea mecanică	5,5
7	99	Cauza neidentificată	15,00	7	92	În instalaţiile consumatorului	15,8
8	92	În instalaţiile consumatorului	14,92	8	23	Furnizor intern de echip. electric	8,9
9	72	Îmbătrînirea izolaţiei electrice	3,66	9	81	Suprasolicitarea electrică	8,8
10	91	În afara instalaţiilor proprii	3,45	10	72	Îmbătrînirea izolaţiei electrice	4,7
		Total	79,43			Total	87,0
		Restul diferitelor cauze, în număr de 28	20,57			Restul diferitelor cauze, în număr de 28	13,0
		Total sistem	100,00			Total sistem	100,00

Fără a intra, în limitele prezentului articol, în interpretarea concluziilor, subliniem importanţa pe care o au acestea pentru fiecare compartiment care contribuie la asigurarea funcţionării normale a instalaţiilor.

Este pentru prima dată cînd analiza incidentelor din sectorul energetic furnizează date sintetice atît de complete, care pot fi utilizate în mod direct pentru orientarea activităţii practice a sectorului.

În afara datelor prezentate în articolul de faţă, cu privire la analiza incidentelor din 1967 şi 1968 au mai fost prelucrate sau se află în curs de prelucrare un număr însemnat de informaţii, care urmează să servească aceluiaşi scop — de mărire a siguranţei funcţionării instalaţiilor. Printre acestea, pot fi citate analizarea deteriorărilor de echipamente, stabilirea numărului specific de incidente pe instalaţii, durata acestora, stabilirea numărului specific de deteriorări pe tipuri de echipament principal şi altele.

Bibliografie

[1] * * * *Regulament pentru analiza şi evidenţa incidentelor de exploatare din instalaţiile de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice şi căldurii.* Aprobat prin ordinul M.E.E. 329–28.03.1969.

[2] Costin, E. *Metode statistice moderne în analiza avariilor. Statistica avariilor cu cartele perforate.* În informaţii documentare M.M.E.E. 1964, nr. 1 p. 140–181.

[3] Rich, A. *A classification of outages of facilities in electric power systems.* Combustion, *24*, mart. 1953, p. 43.
[4] Baatz, H. și Waste, W. *Înregistrare și studiu statistic al incidentelor de exploatare.* ETZ-A, *76*, 11.IX.1955, p. 785.
[5] Baatz, H și Hameister, G. *Neuaufbau der Störungs und Schadenstatist k der VDEW.* Elektrizitätswirtschaft, *54*, 1955, p. 883.
[6] Warrelmann, B. *Neue erweiterte Störungs- und schadensstatistik der VDEW und ihre Auswertungsmöglichkeiten durch Lochkarten.* Elektrizitätswirtschaft, *57*, 1958, nr. 24, p. 829 — 831.
[7] Liebert, L. și Körner, G. *Analiza și prelucrarea deranjamentelor în centralele producătoare de energie electrică.* Mitt. Inst. für Energetik, nr. 38, 1961, p. 437—447, trad. rom. IDT.
[8] Wilpernig, H. și Seidler, P. *Einige Erkenntnisse aus der Storungsstatistik der Kärntner Elektrizitäts — A.G.* ÖZE, *15*, nr. 2, 1962, p. 42 — 44.
[9] Rhöten, G. P. și Stratton, H. E. *Distribution trouble analysis from data processing machines.* Proceedings of the American Power Conf. Vol. *24*, Chicago III., 1962, p. 1010—1021.
[10] Lynskey, J. P. și Sloane, R. J. *Computer analysis of outage data.* IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, 83, nr. 4, 1964, p. 386—397.
[11] Runge, G. *Die Entwicklung des Störungs- und Schadensgeschehens in elektrischen Netzen der öffentlichen Energieversorgung der DDR (Nennspannung 1 bis 60 kV).* Energietechnik, *14*, nr. 6, 1964, p. 242.
[12] Peslar, J. *Avariile în rețelele electrice ale RSC în 1964.* Energetika, *15*, nr. 1, 1965, p. 28.
[13] Suchy, J. *Avariile în centralele electrice din RSC în 1965.* Energetika, *16*, nr. 11, 1966, p. 577.
[14] Anthoni, P. și Leppëmëki, T. *Elverkens störnings- och skadestatistik.* (*Statistica defectelor și deteriorărilor în sistemele energetice.*) Sähkö, *38*, nr. 12, 1965, p. 393—396 (Finlanda).
[15] Bebesi, K. și Fekete, J. *Analiza defectelor instalațiilor și a daunelor care apar ca urmare a întreruperii bruște a alimentării cu energie electrică.* Villamossag, *14*, nr. 2, 1965, p. 42.
[16] Nanov, D., Ciolev, N. ș.a. *Metodă statistică de analiză a perturbațiilor și deteriorărilor în sistemul energetic RPB, cu ajutorul cartelelor perforate.* Ikon. misl, *11*, nr. 9, 1966, p. 98.
[17] Connor, R. A. W. și Parkins, R. A. *Operational statistics in the management of large distribution systems.* Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, vol. *113*, nr. 11, nov. 1966, p. 1823 — 1834.
[18] Krivoșei, N. G. *Avariile în rețelele rurale de distribuție și statistica întreruperilor consumatorilor în Sudul Ucrainei.* Nadejnosti electrosnabjenia, Moscova — Leningrad, 1967, p. 145.
[19] Mihai, I. și Costin, E. *Aspecte privind aplicarea practică a regulamentului incidentelor de exploatare.* Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, *1*, nr. 1, 1968.

(Articol intrat în redacție la 27 mai 1968)

Introducere aplicativă privind metoda de rezolvare a rețelelor electrice cu ajutorul rețelelor ortogonale

Ing. *A. Rothman**)

În epoca calculatorului numeric, accentul se pune nu atît pe rezolvarea problemei, ci pe formularea corectă și cît mai generală a acelor algoritme care sînt prelucrate de calculator. Dacă dificultățile calculului propriu-zis nu mai constituie un impediment, este evident că există întregul interes ca să se elaboreze o formulare cît mai generală care să permită includerea unui număr cît mai mare de cazuri particulare. Aplicarea calculului tensorial în electrotehnică, adică folosirea unor procedee generale, valabile independent de sistemul de referință, este legată indisolubil de conceptul de rețea ortogonală [1], [2], [3].

Articolul de față, care are un caracter introductiv, își propune să arate numai cum se folosește metoda ortogonală ca metodă propriu-zisă de calcul. Autorul consideră acest mod de abordare a problemei mult mai indicat din punct de vedere practic și, în același timp, din punct de vedere gnoseologic și heuristic. Cititorul este rugat să considere noțiunile introduse în mod axiomatic și să caute să rețină procedeul de calcul. Metoda ortogonală nu are un corespondent în electrotehnica clasică, deoarece aceasta nu se ocupă cu probleme cum ar fi ruperea și interconectarea unor subrețele. Însăși topologiei îi sînt străine transformările care implică ruperi ale structurilor spațiale. Pentru a putea lua în considerare transformările care implică ruperi și interconectări trebuie să se recurgă la coordonate ortogonale. Aceste coordonate ortogonale sînt circuitele închise și deschise. Cititorul trebuie să renunțe în mod special la entitatea geometrică care în accepția teoriei grafului este denumită nod. Perechilor de noduri le este substituită noțiunea de circuit deschis. Termenul de curent solenoidal este echivalent termenului de curent închis, iar termenul de curent lamelar corespunde celui de curent deschis. Justificarea acestei terminologii, folosită de Kron, are la bază faptul că la folosirea coordonatelor ortogonale, pentru determinarea modelului multidimensional al undelor, vectorii lamelari sînt identificați cu sarcini electrice sau magnetice.

Ideea de a separa structura topologică a spațiului de mărimile aplicate (ecuațiile de material) este în prezent atît de larg răspîndită, încît se uită faptul că ea nu reprezintă decît o primă aproximație, grosieră, a procesului cunoașterii. Studiul mai profund al realității ne arată, spre exemplu, că proprietățile cîmpului gravitațional sînt intim legate și nu pot fi separate de structura spațiului. În mod similar, spațiul fenomenelor electrice în care structurile spațiu-

*) A. Rothman este cercetător științific principal la ICENERG.

lui admit ruperi și interconectări, deci transformări mai generale decît cele topologice, formează spațiul electrodinamicii neriemanniene al lui Kron.

Cînd este dată o rețea electrică neexcitată, avînd l laturi și n noduri, precum și o matrice 1×1, reprezentînd matricea Z a impedanțelor atașate laturilor, toate aceste date pot fi interpretate — așa cum s-a arătat mai sus — din trei puncte de vedere :

— Se poate face abstracție de graful rețelei căreia îi este atașată matricea Z și să se considere că un spațiu l-dimensional este definit de matricea Z. Studierea performanțelor electrice ale circuitului poate fi interpretată în sensul lui Lagrange ca o traiectorie a unui punct material într-un spațiu l-dimensional. Ecuațiile care descriu fenomenele electrice sînt ecuațiile mecanicii analitice lagrangiene și calea lor de rezolvare este o cale analitică. Aceasta este calea adoptată de Maxwell ;

— Se poate face abstracție de matricea Z și să se considere numai graful care definește rețeaua. Acest punct de vedere este cel al teoriei grafului și operează cu matrice de incidență între elementele grafului ;

— Se poate considera în același timp graful rețelei și matricea Z ca o entitate unică definind rețeaua electrică neexcitată. Acesta este punctul de vedere al rețelei ortogonale de care ne ocupăm în acest articol. Dezvoltarea conceptului de rețea ortogonală se bazează pe distincția a două tipuri de curenți și tensiuni care coexistă de obicei în fiecare ramură a rețelei, fiind în general confundate.

Este vorba de :

— curenți și tensiuni solenoidali asociați totdeauna unor circuite închise, și

— curenți și tensiuni lamelari asociați totdeauna unor circuite deschise (perechi de noduri).

Trebuie menționat că acești curenți și tensiuni își mențin identitatea lor distinctă și nu trebuie amalgamați.

Fie, spre exemplu, figura 1, care reprezintă o latură a rețelei reprezentată în figura 2. Mărimile solenoidale sînt i și e, iar cele lamelare, I și E.

Ținînd seamă de convenția de semn indicată pe figură, legea lui Ohm ne dă :

$$E + e = Z\,(i + I).$$

Curentul I și tensiunea electromotoare e se consideră mărimi date, iar curentul i și tensiunea E, mărimi necunoscute.

Vom folosi următoarele notații introduse de Happ [3] :

l — latură izolată (primitivă) ;
c — circuit închis ;
o — circuit deschis ;
s — rețea ortogonală ;
$C_{.s}$ — tensorul de conexiune între laturi și rețeaua ortogonală.

Tensorul de conexiune este reprezentat analitic printr-o matrice avînd l linii și s coloane. Indicele referitor la coloană va fi marcat totdeauna printr-un punct. Dispunerea indicilor la partea superioară și inferioară a simbolurilor

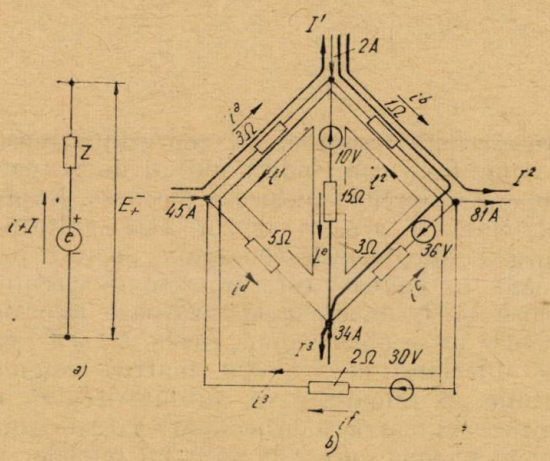


Fig. 1

$C_{.s}^{l} =$

l \ s	1	2	3	I	II	III
a	-1	0	1	1	0	0
b	0	-1	1	0	1	1
c	0	1	0	0	0	-1
d	1	0	0	0	0	0
e	-1	1	0	0	0	0
f	0	0	1	0	0	0

Fig. 2

este conformă cu regulile calculului tensorial Caracterul covariant al curenților și contravariant al tensiunilor este astfel evidențiat. De asemenea, caracterul mixt al tensorului de conexiune ($C_{.s}^{l}$) sau dublu covariant al tensorului impedanță (Z_{ij}) este, de asemenea, evidențiat în acest sistem de notație. Fie, spre exemplu, rețeaua electrică din figura 2, excitată atît prin surse de tensiune aplicate laturilor, cît și prin surse de curent aplicate nodurilor.

Această rețea, avînd un număr de șase laturi, se pot concepe din punctul de vedere al rețelei ortogonale șase circuite, care să definească ansamblul de curenți ai rețelei. Dintre aceste șase circuite, trei sînt închise, corespunzînd numărului de circuite închise independente, și restul de trei circuite sînt deschise. Cele trei circuite deschise și cele trei circuite închise sînt reprezentate în figura 2. Circuitele închise pot fi considerate ca parcurse de un vector curent solenoidal, care va fi notat i^c, iar circuitele deschise de un vector curent lamelar,

care va fi notat I°. Dacă curenții solenoidali și lamelari ai laturilor vor fi notați, respectiv, cu i^l și I^l, iar curentul total al unei laturi J^l, atunci avem relația :

$$J^l = i^l + I^l = l \left| \begin{array}{c|c} c & o \\ \hline O_{.c} & C_{.o} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} i^c \\ \hline I^o \end{array} \right| = C^l_{.s} J^s \qquad (3)$$

În această expresie, $C^l_{.s}$ reprezintă tensorul de conexiune care indică modul de grupare a laturilor în circuite închise și deschise. Expresia matricială a acestui tensor este arătată în figura 2. Matricea de conexiune poate fi partiționată în coloane corespunzătoare circuitelor închise și coloane corespunzătoare circuitelor deschise și se obțin submatricele C^l_c și C^l_o care, spre diferență de $C^l_{.s}$, sînt matrice singulare. Trebuie să remarcăm că submatricea C^l_c este identică cu matricea de incidență laturi-circuite, folosită în mod curent în calculul rețelelor prin metoda buclelor (curenților ciclici).

Rezultă, deci, că metoda rețelei ortogonale folosește formule formal similare acelora folosite în metoda curenților ciclici. Metoda rețelei ortogonale, pe lîngă o lărgire a conceptelor fizice la care face apel — ceea ce permite rezolvarea unei clase mult mai largi de probleme — folosește, în plus, o matrice de conexiune pătrată, deci care este, în general, nesingulară și are, deci, o matrice inversă.

Matricea inversă a transpusei conjugate a matricei C, adică

$$(C^{l\,*}_{\cdot s})^{-1} = A^{s}_{\cdot l} \text{ sau } (C^l_{.s})^{-1} = A^{s\,*}_{\cdot l}, \qquad (4)$$

prezintă importanță în teoria rețelelor ortogonale, deoarece duce la o simetrie a formulelor și constituie operatorul matricial de bază folosit cînd se pleacă de la admitanța rețelei în loc de impedanță. Relația care leagă tensiunile laturilor de tensiunile circuitelor și care este duală relației (3) este :

$$V_s = \left| \begin{array}{c|c} c & e_c \\ \hline o & E_o + e_o \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c|c} c & C^{l\,*}_{\cdot c} \\ \hline o & C^{l\,*}_{\cdot o} \end{array} \right| l \left| E_l + e_l \right| =$$

$$= C^{l\,*}_{\cdot s} V_l \qquad (5)$$

din relația

$$V_l = Z_{ll} J^l \qquad (6)$$

avem :

$$C^{l\,*}_{\cdot s} V_l = C^{l\,*}_{\cdot s} Z_{ll} C^{\cdot l}_{\cdot s} J_s$$

sau

$$V_s = Z_{ss} J_s, \qquad (7)$$

unde

$$Z_{ss} = C^{l\,*}_{\cdot s} Z_{ll} C^l_{\cdot s}. \qquad (8)$$

În forma explicită, relația (7) se scrie

$$\left| \begin{array}{c|c} c & e_c \\ \hline o & E_o + e_o \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c|c} c & Z_4 = C^{\cdot l\,*}_{c} Z_{ll} C^l_{\cdot c} \quad Z_3 = C^{\cdot l\,*}_{c} Z_{ll} C^{\cdot l}_{\cdot o} \\ \hline o & Z_2 = C^{\cdot l\,*}_{c} Z_{ll} C^l_{\cdot c} \quad Z_1 = C^{\cdot l\,*}_{c} Z_{ll} C^{\cdot l}_{\cdot o} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} i^c \\ \hline I^o \end{array} \right| \qquad (9)$$

și reprezintă ecuația matricială fundamentală pentru calculul rețelelor ortogonale. Submatricele de conexiune C^l_c și C^l_o sînt asociate, respectiv, identificării circuitelor închise și deschise.

Relația (9) arată că între circuitele deschise și închise există legături mutuale nesimetrice date, respectiv, de impedanțele Z_3 și Z_2. Impedanța Z_4 este impedanța echivalentă folosită în metoda curenților ciclici.

Relațiile de bază folosite pentru calculul rețelelor ortogonale sînt date în tabela 1 [3], iar identitățile care leagă submatricele de conexiune, în tabela 2.

Datele problemei sînt următoarele :

Tabela 1

$J^l = i^l + I^l$	$V_l = e_l + E_l$
$J^s = (i^c, I^o)$	$V_s = (e_c, E_o + e_o)$
$J^l = C^l_{\cdot s} J^s$	$V_l = A^{\cdot s} V_s$
$J^l = C^l_{\cdot c} i^c + C_{\cdot o} I^o$	$V_l = A^{\cdot c}_{l} e_c + A^{\cdot o}_{l} (E_o + e_o)$
$I^l = C^l_{\cdot o} I^o$	$E_l = A^{\cdot o}_{l} E_o$
$i^l = C^l_{\cdot c} i^c$	$e_l = A^{\cdot c}_{l} e_c + A^{\cdot o}_{l} e_o$
$J^s = A^{s\,*}_{\cdot l} J^l$	$V_s = C^{l\,*}_{s} V_l$
$I^o = A^{o\,*}_{\cdot l} I^l$	$E_o = C^{l\,*}_{o} E_l$
$O^c = A^{c\,*}_{\cdot l} I^l$	$O_c = C^{l\,*}_{c} E_l$
$O^o = A^{o\,*}_{\cdot l} i^l$	$e_o = C^{l\,*}_{o} e_l$
$i^c = A^{c\,*}_{\cdot l} i^l$	$e_c = C^{l\,*}_{c} e_l$
$I^o = A^{o\,*}_{\cdot l} J^l$	$E_o + e_o = C^{l\,*}_{o} V_l$
$i^c = A^{c\,*}_{\cdot l} J^l$	$e_c = C^{l\,*}_{c} V_l$
$J^l = Y^{ll} V_l$	$V_l = Z_{ll} J^l$
$J^s = Y^{ss} V^s$	$V_s = Z_{ss} J^s$

Tabela 2

$C^l_{\cdot s} A^{s\,*}_{\cdot l} = 1^l_{\cdot l}$	$A^{\cdot s}_{l} C^l_{s} = 1^{\cdot l}_{l}$
$A^{s\,*}_{\cdot l} C^l_{\cdot s} = 1^s_{\cdot s}$	$C^{\cdot l}_{s} A^{\cdot s}_{l} = 1^{\cdot s}_{s}$
$A^{o\,*}_{\cdot l} C^l_{\cdot o} = 1^o_{\cdot o}$	$C^{\cdot l}_{s} A^{\cdot o}_{l} = 1^{s}_{o}$
$A^{c\,*}_{\cdot l} C^l_{\cdot c} = 1^c_{\cdot c}$	$C^{\cdot l}_{c} A^{\cdot c}_{l} = 1^{\cdot c}_{c}$
$A^{o\,*}_{\cdot l} C^l_{\cdot c} = O^o_{\cdot c}$	$C^{\cdot l}_{c} A^{\cdot o}_{l} = O^{\cdot o}_{c}$
$A^{c\,*}_{\cdot l} C^l_{\cdot o} = O^c_{\cdot o}$	$C^{\cdot l}_{c} A^{\cdot o}_{l} = O^{\cdot o}_{c}$

Pentru exemplul din figura 2, matricea $A_{.I}^{s*}$ este pe baza relației (4) :

$$A_{.I}^{s*} = \begin{matrix} c \\ o \end{matrix} \left|\begin{array}{c} A_{.I}^{c*} \\ \hline A_{.I}^{o*} \end{array}\right| = \left|\begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \end{array}\right|$$

$$Z_{II} = \left|\begin{array}{cccccc} 3 & & & & & \\ & 1 & & & & \\ & & 3 & & & \\ & & & 5 & & \\ & & & & 15 & \\ & & & & & 2 \end{array}\right| ; \; e_I = \left|\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -36 \\ 0 \\ -10 \\ 30 \end{array}\right| ; \; I^o = \left|\begin{array}{c} 45 \\ 81 \\ -34 \end{array}\right|$$

Calculăm expresia impedanței Z_{ss} conform relației (8) și avem :

$$C_s^{I*} Z_{II} = \left|\begin{array}{cccccc} -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right| \left|\begin{array}{cccccc} 3 & & & & & \\ & 1 & & & & \\ & & 3 & & & \\ & & & 5 & & \\ & & & & 15 & \\ & & & & & 2 \end{array}\right| = \left|\begin{array}{cccccc} -3 & 0 & 0 & 5 & -15 & 0 \\ 0 & -1 & 3 & 0 & 15 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right|$$

$$Z_{ss} = C_s^{I*} Z_{II} C_{.s}^{I} = \left|\begin{array}{cccccc} -3 & 0 & 0 & 5 & -15 & 0 \\ 0 & -1 & 3 & 0 & 15 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right| \left|\begin{array}{cccccc} -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right| = \left|\begin{array}{cccccc} 23 & -15 & -3 & -3 & 0 & 0 \\ -15 & 19 & -1 & 0 & -1 & -4 \\ -3 & -1 & 6 & 3 & 1 & 1 \\ -3 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -4 & 1 & 0 & 1 & 4 \end{array}\right|$$

Matricea Z_{ss} se mai poate calcula determinînd separat submatricele Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 (ecuația 9), astfel :

$$C_c^{I} = \left|\begin{array}{cccccc} -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right| ; \; C_c^{I*} = \left|\begin{array}{cccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right|$$

$$C_{.c}^{I*} = \left|\begin{array}{ccc} -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array}\right| ; \; C_{.o}^{I} = \left|\begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{array}\right|$$

$$C_c^{I*} Z_{II} = \left|\begin{array}{cccccc} -3 & 0 & 0 & 5 & -15 & 0 \\ 0 & -1 & 3 & 0 & 15 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{array}\right| ; \; C_c^{I*} Z_{II} = \left|\begin{array}{cccccc} 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right|$$

$$Z_1 = \left|\begin{array}{ccc} 23 & -15 & -3 \\ -15 & 19 & -1 \\ -3 & -1 & 6 \end{array}\right| ; \; Z_2 = \left|\begin{array}{ccc} -3 & 0 & 3 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 4 & 1 \end{array}\right| ; \; Z_3 = \left|\begin{array}{ccc} -3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -4 \\ 3 & 1 & 1 \end{array}\right| ;$$

$$Z_4 = \left|\begin{array}{ccc} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 4 \end{array}\right|$$

Avem, din tabela 1 :

$$e_c = C_c^{I*} e_I = \left|\begin{array}{cccccc} -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right| \left|\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -36 \\ 0 \\ -10 \\ 30 \end{array}\right| = \left|\begin{array}{c} 10 \\ -46 \\ 30 \end{array}\right|$$

$$e_c = C_c^{I} e_I = \left|\begin{array}{cccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right| \left|\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -36 \\ 0 \\ -10 \\ 30 \end{array}\right| = \left|\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 36 \end{array}\right|$$

Ecuația (9) se scrie :

$$\left|\begin{array}{c} 10 \\ -46 \\ 30 \\ E_{o_I} \\ E_{o_{II}} \\ E_{o_{III}} - 36 \end{array}\right| = \left|\begin{array}{cccccc} 23 & -15 & -3 & -3 & 0 & 0 \\ -15 & 19 & -1 & 0 & -1 & -4 \\ -3 & -1 & 6 & 3 & 1 & 1 \\ -3 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -4 & 1 & 0 & 1 & 4 \end{array}\right| \left|\begin{array}{c} i^c_1 \\ i^c_2 \\ i^c_3 \\ 45 \\ 81 \\ -34 \end{array}\right|$$

Avem :

$$\left|\begin{array}{c} 10 \\ -46 \\ 30 \end{array}\right| = \left|\begin{array}{ccc} 23 & -15 & -3 \\ -15 & 19 & -1 \\ -3 & -1 & 6 \end{array}\right| \cdot \left|\begin{array}{c} i^c_1 \\ i^c_2 \\ i^c_3 \end{array}\right| + \left|\begin{array}{ccc} -3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -4 \\ 3 & 1 & 1 \end{array}\right| \left|\begin{array}{c} 45 \\ 81 \\ -34 \end{array}\right|$$

sau

$$\left|\begin{array}{ccc} 23 & -15 & -3 \\ -15 & 19 & -1 \\ -3 & -1 & 6 \end{array}\right| \cdot \left|\begin{array}{c} i^c_1 \\ i^c_2 \\ i^c_3 \end{array}\right| = \left|\begin{array}{c} 10+135 \\ -46-55 \\ 30-182 \end{array}\right| \text{ sau } i^c = \left|\begin{array}{c} i^c_1 \\ i^c_2 \\ i^c_3 \end{array}\right| = \left|\begin{array}{c} -4 \\ -10 \\ -29 \end{array}\right|$$

deci : $J^s = \left|\begin{array}{c} i^c \\ I^o \end{array}\right| = \left|\begin{array}{c} -4 \\ -10 \\ -29 \\ 45 \\ 81 \\ -34 \end{array}\right|$

$$J^l = C_s^l I^s = \begin{vmatrix} 20 \\ 28 \\ 24 \\ -4 \\ -6 \\ -28 \end{vmatrix}$$

Avem, de asemenea :

$$\begin{vmatrix} E_{o_I} \\ E_{o_{II}} \\ E_{o_{III}} - 36 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -3 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & -4 & 1 & 0 & 1 & 4 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} -4 \\ -10 \\ -29 \\ 45 \\ 81 \\ -34 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 60 \\ 28 \\ -44 \end{vmatrix}$$

$$\text{deci : } V_s = \begin{vmatrix} e_e \\ E_o + e_o \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 10 \\ -46 \\ 30 \\ 60 \\ 28 \\ -44 \end{vmatrix}$$

$$V_l A_l^s V_s = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 10 \\ -46 \\ 30 \\ 60 \\ 28 \\ 44 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 60 \\ 28 \\ 72 \\ -20 \\ -90 \\ -58 \end{vmatrix}$$

și deci :

$$E_l = V_l - e_l = \begin{vmatrix} 60 \\ 28 \\ 72 \\ -20 \\ -90 \\ -58 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 36 \\ 0 \\ -10 \\ 30 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 60 \\ 28 \\ 108 \\ -20 \\ -80 \\ -88 \end{vmatrix}$$

Cu aceste rezultate, rețeaua din figura 2 este complet rezolvată.

Concluzii. Spațiul circuitelor închise (bucle) și cel al circuitelor deschise sînt două spații complementare ortogonale ale spațiului laturilor. Metoda de rezolvare care face apel în același timp la bucle și perechi de noduri, folosind în acest scop o matrice pătrată de conexiuni C, se numește metoda rețelelor ortogonale. În acest articol, cu caracter introductiv, s-a arătat în mod practic cum se aplică această metodă la calculul rețelelor. Alte aspecte ale metodei rețelelor ortogonale vor fi arătate într-un articol viitor.

Bibliografie

[1] Kron, G. *Tensor Analysis of Networks.* MacDonald, Londra, 1964.

[2] Kron, G. *Diacoptics — The Piece Wise Solution of Large Scale Systems.* Mac Donald, Londra, 1963.

[3] Happ, H. H. *Orthogonal Networks.* IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS 85, nr. 3, 1966, p. 281 — 293.

[4] Rothman, A. *Discussion on Happ's paper „Special Cases of Orthogonal Networks".* IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS 85, nr. 8, 1966, p. 890 — 891.

(Articol intrat în redacție la 4 iunie 1968)

— o —

ORGANIZAREA ȘTIINȚIFICĂ A PRODUCȚIEI ÎN SECTORUL ENERGETIC

Decizii în condiții de certitudine
Algoritmul lui Flood

Ing. *V. Bîrsănescu* *)

Decizia, element de bază al cercetării operaționale — disciplină ce înregistrează în ultima perioadă o vertiginoasă dezvoltare — constituie un atribut al omului, care implică alegerea conștientă a uneia dintre mai multe soluții posibile.

Decizia luată de un conducător de întreprindere are la bază analizarea, interpretarea și studierea informațiilor de care dispune. Luarea unei decizii cere să se știe ce informații sînt necesare, sub ce formă trebuie să fie prezentate, dacă este necesar și cît timp trebuie stocate, cînd informațiile din stoc trebuie completate și în ce constau aceste completări.

Întreprinderilor le sînt proprii cantități însemnate de informații, constînd din informații venite din mediul exterior, care în circuitul informațional respectiv constituie variabilele de intrare, reacția către mediul exterior reprezentînd variabilele de ieșire, retroacțiuni constînd din modificări ale circuitului inițial datorită variabilelor de ieșire și un stoc de informații. Fiecare organizație are anumite stocuri de informații, constînd din fișe, arhive etc. De asemenea, creierul omenesc constituie și el o rezervă de cunoștințe.

Ținînd seamă că timpul de obținere a informațiilor sub formă de documente scrise, în contextul actual al funcționării întreprinderilor moderne, este cu mult prea mare și începe să devină o frînă în activitate, creierul omenesc neconstituind o rezervă de informații sigură, în organizațiile moderne crește din ce în ce mai mult importanța memoriilor electronice în crearea rezervei de informații.

Luarea unei decizii urmărește atingerea unui anumit scop sau, pur și simplu, menținerea unei situații existente prin folosirea mijloacelor și forțelor de care se dispune. Decizia constă în alegerea și utilizarea cît mai rațională a anumitor resurse particulare din cadrul întreprinderilor. Această utilizare particulară a resurselor definește strategia, și a decide înseamnă alegerea unei anumite strategii.

Nu putem spune că avem de-a face cu o decizie dacă există o singură modalitate de a acționa, deoarece cuvîntu decizie implică o noțiune de selecție. Responsabilul decizie își fixează un anumit scop și are la dispoziție o anumit

*) Virgil Birsănescu este inginer-șef al Șantierului rețele electrice București din cadrul I.E.M.B.

cantitate de informaţii despre elementele variabile din cadrul procesului de producţie. Aceste elemente variabile pot fi perfect controlabile, sau necontrolabile dar previzibile, pe baza unei experienţe acumulate anterior şi exprimate printr-o distribuţie de probabilităţi, sau total incerte. În această situaţie avem de-a face cu următoarele trei tipuri de decizii :

— decizii cu certitudine ;
— decizii cu risc ;
— decizii în incertitudine.

În cele ce urmează se vor arăta caracteristicile principale ale deciziilor cu certitudine.

La prima vedere, acest tip de decizii nu ar prezenta nici un fel de interes, avînd în vedere că toate elemntele necesare alegerii unei strategii sînt perfect determinate. Dificultatea luării unor decizii de acest tip constă în numărul enorm de variante care intervin în rezolvarea problemei, în multitudinea de strategii din care responsabilul deciziei trebuie să o aleagă pe cea mai favorabilă.

Decizii de acest tip se iau şi în cadrul jocului de şah, care are reguli precise, bine stabilite, în care nu există nici un fel de mutări secrete, norocul nu intervine, şi se joacă totuşi de mii de ani cu un interes crescînd, datorită numărului enorm de variante ce comportă.

Probleme asemănătoare sînt proprii şi proceselor de producţie ; pentru exemplificare, se va arăta în continuare modalitatea de rezolvare a aşa-numitelor probleme de ordonare.

1. **Probleme de ordonare.** Problemele de ordonare se enunţă astfel :

Avem o serie de ateliere, uzine, maşini, echipe etc., care pot efectua un anumit număr de sarcini. Toate sarcinile trebuie efectuate simultan, iar mijloacele respective (ateliere, maşini, echipe etc.) le realizează cu eficacităţi diferite.

Se cunosc costurile afectării sarcinilor fiecăruia dintre mijloace în parte. Problema deciziei este să se desemneze sarcinile diverselor mijloace, în aşa fel încît să se obţină costul total minim.

Un exemplu de problemă de ordonare este aşa-numita problemă a echipajelor funcţionînd între două oraşe [1].

Considerăm două oraşe — A şi B — legate printr-o linie aeriană directă. Presupunem că un număr de avioane efectuează zboruri din A spre B şi, respectiv, din B spre A. Durata zborurilor între oraşe este cunoscută, fiind uniformă şi constantă.

Vrem să minimalizăm timpul petrecut de echipaje în afara domiciliului, ştiind că fiecare echipaj cu domiciliul în A sau B trebuie să se întoarcă la punctul de reşedinţă după încheierea misiunii.

Trebuie să ţinem seamă că pentru o matrice cu n linii şi coloane corespunzătoare repartizării a n sarcini la n mijloace există $n!$ posibilităţi diferite de ordonare. Metoda primitivă de stabilire a ordonării optimale ar consta în calcularea tuturor celor $n!$ posibilităţi şi, pe baza sumelor de costuri stabilite pentru fiecare variantă, să se aleagă varianta cu valoarea minimă. Evident că această metodă, chiar pentru exemple foarte simple, necesită executarea unor calcule deosebit de numeroase.

Dacă considerăm un caz întîlnit în mod frecvent în practică, cînd $n = 20$, numărul de posibilităţi de ordonare devine impresionant de mare :

$$n! = 20! = 2.432.902.008.176.640.000.$$

Un asemenea număr de ordonări nu mai poate fi rezolvat nici măcar cu ajutorul maşinilor electronice de calcul. Astfel, unei maşini electronice de calcul care programează o ordonare într-o microsecundă şi ar fi în funcţiune 360 de zile într-un an, cîte 8 ore zilnic, i-ar fi necesar circa un sfert de milion de ani pentru găsirea rezolvării optimale. În aceste condiţii devine clar gradul ridicat de dificultate pe care-l are stabilirea deciziilor chiar în condiţii de certitudine. De asemenea, apare pregnantă necesitatea găsirii unor metode simplificate de calcul pentru rezolvarea problemelor de acest tip.

1.1. *Modelul matematic.* În cele ce urmează se va stabili forma generală a problemelor de ordonare.

Fiind dată o matrice de gradul n : $A_0 = ||a_{ij}^\circ||$, pe care o vom numi matrice de costuri şi în care :

$$a_{ij}^\circ \geqq 0 \text{ pentru } i, j = 1, 2, \ldots, n \ (n \geqq 3),$$

este necesar să determinăm o matrice de gradul n : $X = ||x_{ij}||$, pe care o vom numi matrice de ordonare sau permutare şi în care :

$$x_{ij} = x_{ij}^2 ; \ j = 1, 2, \ldots, n \ (n \geqq 3), \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1. \tag{2}$$

Urmează să se determine :

$$F_{minim} = \sum_{i,j} a_{ij}^\circ \cdot x_{ij}. \tag{3}$$

Se menţionează că o problemă de maxim derivă uşor dintr-o problemă de minim.

Din relaţiile (1) şi (2) rezultă în mod evident că :

— $x_{ij} = 1$ atunci cînd mijlocului i îi este repartizată sarcina j ;

— $x_{ij} = 0$ în toate celelalte cazuri.

De asemenea, din aceste relaţii, se constată că în fiecare linie şi coloană a matricei X avem un singur element l, celelalte elemente fiind nule.

Condiţia (3), legată de condiţiile (1) şi (2), arată că din matricea de gradul nA_0 se aleg n elemente, în aşa fel încît în nici un caz două elemente să nu figureze în aceeaşi linie sau coloană şi ca suma acestor elemente să fie minimă.

În aceste condiţii am stabilit matricea de permutaţie optimă.

Pentru ilustrare, considerăm matricea din tabela 1, care conţine costurile a_{ij}°, care leagă mijloacele M_1, M_2, M_3, M_4 cu sarcinile S_1, S_2, S_3, S_4.

Tabela 1

Sarcini / Mijloace	S_1	S_2	S_3	S_4
M_1	2	16	8	2
M_2	10	14	12	10
M_3	6	10	8	4
M_4	6	2	12	6

Avem de-a face cu $4! = 24$ variante ale matricei de permutaţie. Problema constă în afectarea fiecărui mijloc unei sarcini, în aşa fel încît costul total rezultat să fie minim sau maxim.

Tabela 2 indică matricea de permutaţie X_{min} pentru ordonarea optimală.

Tabela 2

Matricea de permutaţie optimală

Sarcini / Mijloace	S_1	S_2	S_3	S_4	x_{ij}
M_1	1	—	—	—	1
M_2	—	—	1	—	1
M_3	—	—	—	1	1
M_4	—	1	—	—	1
x_{ij}	1	1	1	1	

Tabela 3

Matricea de permutaţie pentru ordonarea costurilor maximale

Sarcini / Mijloace	S_1	S_2	S_3	S_4	x_{ij}
M_1	—	1	—	—	1
M_2	—	—	—	1	1
M_3	1	—	—	—	1
M_4	—	—	1	—	1
x_{ij}	1	1	1	1	

$$F_{min} = a_{11}^{\circ} + a_{23}^{\circ} + a_{34}^{\circ} + a_{42}^{\circ} = 2 + 12 + 4 + 2 = 20.$$

Tabela 3 indică opusul matricei de permutaţie optimală, şi anume matricea pentru ordonarea costurilor maximale. Suma costurilor legate de această ordonare este :

$$F_{max} = a_{12}^{\circ} + a_{24}^{\circ} + a_{31}^{\circ} + a_{43}^{\circ} = 16 + 10 + 6 + 12 = 44.$$

Problemele de ordonare prezintă mai multe variante. Ne vom ocupa numai de cazul în care un mijloc nu poate fi repartizat decît unei singure sarcini.

2. **Metoda de rezolvare.** Pornind de la relaţiile (1), (2), (3), s-au făcut numeroase încercări de rezolvare a problemelor de ordonare, şi interesul pentru acest domeniu al cercetării operaţionale este în continuă creştere. Matematicianul Kuhn [4] a dezvoltat pentru prima dată un algoritm pentru rezolvarea unor asemenea probleme. Algoritmul lui Kuhn se bazează pe metoda enunţată de matematicianul maghiar König, în anul 1916, şi se defineşte astfel :

„Modelăm pe o matrice de costuri dată $A = \| a_{ij} \|$ o matrice $B = \| b_{ij} \|$, în care :

$$b_{ij} = a_{ij} - u_i - v_j, \qquad (4)$$

u_i şi v_j fiind costuri oarecare. În cazul problemei enunţate, rezolvarea din matricea A este identică cu cea din matricea B".

Metoda cea mai utilizată pentru rezolvarea unor asemenea tipuri de probleme a fost stabilită de matematicianul Flood. Metoda face cu putinţă rezolvarea unor astfel de probleme chiar fără ajutorul maşinilor electronice de calcul, pentru matrice cu un număr mic de coloane şi linii, realizînd o economie importantă de timp faţă de toate celelalte metode de rezolvare.

Sistemul constă dintr-o reducere rapidă a matricei de costuri A_0, ţinînd seamă că ea conţine n zerouri precis independente, cîte unul pe fiecare linie şi coloană. Aceste n zerouri independente conduc la rezolvarea optimală a problemei de ordonare.

La baza raţionamentului stă aşa-numitul cost de circumstanţă, pe care îl definim ca fiind costul rezultat dintr-o alegere neoptimală a resurselor. Se naşte întrebarea legitimă : cum putem să determinăm acest cost de circumstanţă dacă nu cunoaştem costul corespunzător celei mai bune strategii ? Evident, dacă sîntem în măsură să cunoaştem cea mai bună strategie, raţionamentul nu mai prezintă nici un fel de interes.

Vom căuta să ilustrăm metoda de calcul pe baza unui exemplu simplu. Considerăm matricea de costuri indicată în tabela 4, care cuprinde sarcinile A, B, C, pe care ne propunem să le repartizăm maşinilor *1*, *2*, *3*, în aşa fel încît să obţinem ordonarea optimală. Metoda se bazează pe faptul că se pot determina costurile de circumstanţă pentru strategiile al căror cost este nul.

Tabela 4

Sarcini	Maşini		
	1	*2*	*3*
A	90	140	190
B	160	110	200
C	200	250	140

Considerăm că repartizăm sarcina C maşinii *1* şi înregistrăm un cost direct de 200 lei. Evident, nu putem să repartizăm alte sarcini maşinii *1* şi de asemenea sarcina C nu mai poate fi repartizată altei maşini. Acest fapt duce la înregistrarea unor costuri indirecte.

Astfel, pentru prima maşină, sarcina cea mai economică de repartizat este A, cu un cost de 90 lei. Am făcut ipoteza că repartizăm primei maşini sarcina C, şi în acest caz rezultă un cost de circumstanţă de $200 - 90 = 110$ lei.

Din tabela 4 remarcăm că sarcina C poate fi efectuată în modul cel mai economic de maşina *3*, cu un cost direct de 140 lei. În acest caz, costul de circumstanţă înregistrat va fi : $200 - 140 = 60$ lei.

Bazat pe cele două alternative indicate mai sus, cele două categorii de costuri de circumstanţă, datorate nerepartizării sarcinii celei mai economice la o maşină dată şi faptului că o sarcină nu se efectuează în modul cel mai economic, sînt uşor de determinat.

Matricea de cost provenită din nerepartizarea sarcinii celei mai economice la o maşină dată se obţine extrăgînd din fiecare membru al unei coloane cea mai mică valoare dintre ele.

Matricea de cost provenită din faptul că o sarcină nu se efectuează în modul cel mai economic se obţine extrăgînd din toţi membrii unei linii pe cel mai mic dintre ei.

În cazul analizat se obţine tabela 5.

Tabela 5

Sarcini	Costuri de circumstanţă datorită afectării sarcinilor — Maşini 1	2	3	Sarcini	Cost minimal	Cost de circumstanţă datorită afectării maşinilor — Maşini 1	2	3
	Cost minimal 90	110	140					
A	0	30	50	A	90	0	50	110
B	70	0	60	B	110	50	0	90
C	110	140	0	C	140	60	110	0

Se constată că prima matrice are cel puţin un zero în fiecare coloană şi a doua matrice cel puţin unul în fiecare linie. Exemplul analizat reprezintă un caz excepţional, cînd nu există nici un conflict între cele două repartizări optimale.

Cele trei zerouri din matrice corespund aceleiaşi afectări (sarcina A maşinii *1*, B lui *2*, C lui *3*), şi în consecinţă problema este rezolvată.

Considerăm un alt caz, indicat în tabela 6.

În noul caz ales, o singură repartizare a sarcinii X maşinii *1* are ambele costuri de circumstanţă nule.

Pentru urmărirea raţionamentului în continuare, vom considera o matrice simplificată a costului de circumstanţă total.

Noua matrice a costurilor de circumstanţă totală se obţine extrăgînd din fiecare element al liniilor primei matrice costul de circumstanţă cel mai mic (tabela 7).

Transformarea este perfect valabilă, ţinînd seama de relaţia (4).

Pentru a avea o ordonare a sarcinilor pe maşini în aşa fel încît costul de circumstanţă să fie nul, trebuie să obţinem trei valori nule în matrice, amplasate astfel încît nici un cuplu dintre ele să nu fie pe aceeaşi linie sau coloană.

Tabela 6

Sarcini	Costuri directe			Sarcini	Costuri de circumstanță datorită afectării sarcinilor			Sarcini	Costuri de circumstanță datorită afectării mașinilor		
	Mașini				Mașini				Mașini		
	1	*2*	*3*		*1*	*2*	*3*		*1*	*2*	*3*
X	140	160	180	*X*	0	0	0	*X*	0	20	40
Y	155	185	200	*Y*	15	25	20	*Y*	0	30	45
Z	165	190	280	*Z*	25	30	40	*Z*	0	25	55

Tabela 7

Sarcini	Costuri de circumstanță		
	Mașini		
	1	*2*	*3*
X	0	0	0
Y	0	10	5
Z	0	5	15

În matricea obținută nu am realizat o asemenea situație, problema nefiind încă rezolvată, datorită faptului că nu putem utiliza două valori nule în aceeași linie sau coloană.

Evident că, dacă alegem, de exemplu, un zero din coloana *1* nu mai putem alege celelalte valori nule, și aceasta creează un nou cost de circumstanță.

Cunoscînd cauza care produce eroarea, apare necesitatea schimbării costurilor de circumstanță pentru liniile și coloanele unde apar valori nule.

Considerăm toate ansamblurile de linii și coloane conținînd valori nule. Din aceste ansambluri alegem ansamblul al cărui număr de coloane și linii este minim. Acest număr este totdeauna inferior sau egal cu numărul de linii sau coloane ale matricei analizate. Dacă numărul de linii și coloane din ansamblu, care în fond reprezintă niște vectori în spațiul cu *n* dimensiuni, este egal cu numărul de linii și coloane ale matricei, problema este rezolvată, deoarece există un ansamblu de valori nule în matrice, corespunzător unei afectări de sarcini la mașini căreia îi corespunde un cost de circumstanță total egal cu zero.

Matricea din tabela 7 conține toate valorile nule pe coloana *X* și linia *1*, și deci problema nu este încă rezolvată.

Dacă considerăm însă următoarea matrice, în care se indică numai poziția valorilor nule :

Tabela 8

Sarcini	Mașini		
	1	*2*	*3*
M	—	0	—
N	0	—	0
O	—	0	0

problema este rezolvată, deoarece sînt necesare trei linii și coloane pentru a cuprinde toate valorile nule.

Ordonarea optimală este : *M* — *2*, *N* — *1*, *O* — *3*, cărora le corespunde un cost de circumstanță nul.

Sînt cazuri în care întîlnim mai multe maniere de a alege vectorii (linii sau coloane) conținînd toate valorile nule. În acest caz, fiecare alegere reprezintă o soluție optimă.

Revenim la matricea din tabela 7. Pentru rezolvarea problemei, este necesar ca minimum una din valorile nule să-și schimbe locul.

Orice schimbare de acest fel antrenează un cost și costul cel mai mic se obține plasînd valoarea nulă în locul celui mai redus cost de circumstanță situat în afara ansamblului de vectori aleși. În cazul nostru, *Y* — *3* sau *Z* — *2* cu cifra 5.

Cel mai mic cost de circumstanță, corespunzător alegerii unei căsuțe după linia *X* și coloana *1*, în afara lui *X* — *1*, este de 5 și corespunde deplasării unui zero în *Y* — *3* sau *Z* — *2*.

Deci, noi adăugăm valoarea 5 în toate căsuțele liniei *X* și coloanei *1*, în afară de *X* — *1*. Alegerea lui *X* — *1* antrenează deplasarea a două valori nule și va produce un cost egal cu $2 \times 5 = 10$.

Adăugînd 10 în *X* — *1* și 5 în celelalte căsuțe ale liniei *X* și coloanei *1*, se obține :

Tabela 9

Sarcini	Mașini		
	1	*2*	*3*
X	10	5	5
Y	5	10	5
Z	5	5	15

Procedăm din nou ca în cazul matricei inițiale și extragem din fiecare număr al unei coloane pe cel mai mic dintre ele obținînd :

Tabela 10

Sarcini	Mașini		
	1	*2*	*3*
X	5	0	0
Y	0	5	0
Z	0	0	10

Ordonarea optimală va fi :

X — *3*, *Y* — *1*, *Z* — *2*. După matricea inițială de costuri obținem : 180 + 155 + 190 = 525.

Există și o altă ordonare optimală :

X — *2*, *Y* — *3*, *Z* — *1*, căreia îi corespunde același cost, de 525.

Se remarcă că nu era necesar să se efectueze toate aceste operații. Era suficient să adăugăm 5 în *X* — *1* și să scădem 5 din toate numerele în afara liniei *X* și coloanei *1*.

3. **Etapele de calcul.** Rezolvarea problemelor de ordonare cuprinde deci următoarele etape :

a) *Etapa 1.* Din matricea de valori $A_0 = ||a_{ij}^\circ||$ alegem pentru fiecare coloană j cel mai mic element a_{ij}°, pe care îl notăm cu v_j°. Se obţine o nouă matrice A_1, în care a_{ij}° este înlocuit prin :

$$a_{ij}^1 = a_{ij}^\circ - u_i^\circ - v_j^\circ, \text{ pentru } i, j = 1, 2, \ldots n,$$

în care $u_i^\circ \equiv 0$.

Operaţia este perfect valabilă, în baza relaţiei (4). Matricea A_1 astfel obţinută va avea în fiecare coloană cel puţin cîte un zero.

b) *Etapa 1'.* Se determină mulţimea minimă de vectori, care conţine toate elementele nule din A_1. Dacă numărul minim de vectori $n_1 = n$, atunci matricea A_1 conţine o mulţime din n elemente nule, din care în nici un caz două elemente nu aparţin aceluiaşi vector. Elementele din cele n locuri ne indică rezolvarea optimală.

c) *Etapa 2.* Dacă $n_1 < n$, alegem din fiecare linie a lui A_1 cel mai mic element u_i^1 (= min. a_{ij}^1) şi construim o nouă matrice, A_2, în care înlocuim :

$$a_{ij}^2 = a_{ij}^1 - u_i^1 - v_j^1, \text{ pentru } i, j = 1, 2, \ldots n,$$

în care $v_j^1 \equiv 0$.

Matricea A_2 va avea în fiecare linie cel puţin cîte un element nul.

d) *Etapa 2'.* Procedăm ca în etapa 1'. Alegem cel mai mic număr de vectori care conţine toate elementele nule din A_2.

Dacă numărul minim de vectori $n_2 = n$, atunci A_2 conţine o mulţime de n elemente nule, din care în nici un caz două elemente nu aparţin aceluiaşi vector. Elementele în cele n locuri indică ordonarea optimală.

Ciclul 1 e) *Etapa 3.* Dacă $n_2 < n$, notăm cu s_2 cel mai mic element din A_2 care nu este cuprins în nici unul din numărul minim de vectori conţinînd toate elementele nule. Extragem pe s_2 din toate elementele necuprinse în acest vector şi adăugăm s_2 la toate elementele ce stau la intersecţia acestor vectori. Obţinem matricea A_3.

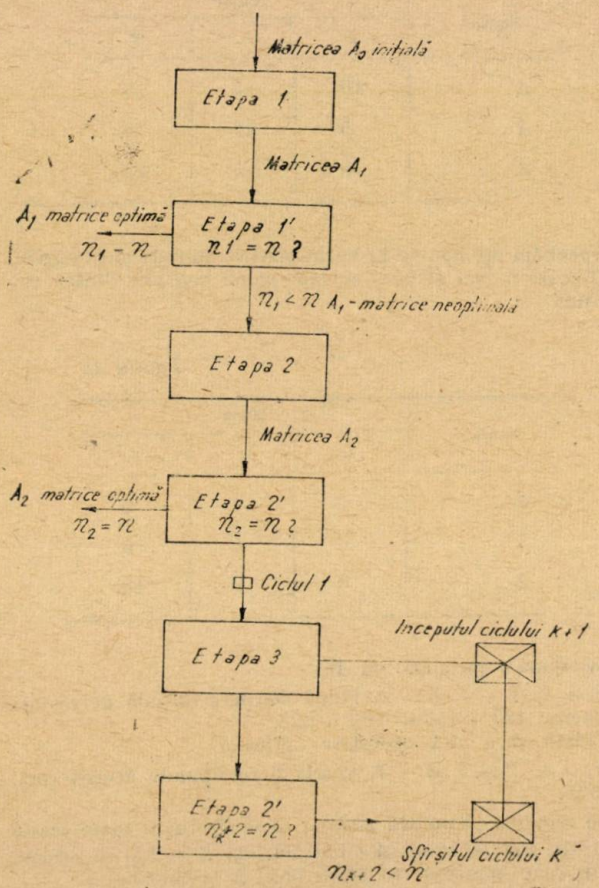


Figura 1

f) Verificăm dacă $n_3 = n$. În acest caz am găsit ordonarea optimală.

g) Dacă $n_3 < n$, atunci reluăm ciclul pînă cînd la un anumit ciclu k avem $n_{k+2} = n$. Găsim matricea a_{k+2} şi, similar cu punctul d, obţinem rezolvarea optimă.

Etapele de rezolvare sînt reprezentate schematic în figura 1.

Exemplu de calcul. Întreprinderile cu specific de construcţii şi montaje energetice utilizează în general un număr de autocamioane pentru transportul la punctele de lucru a anumitor materiale şi aparataje nevagonabile sau care nu pot fi transportate în timp util de la furnizori pe şantiere cu mijloace CFR.

Considerăm cazul a cinci mijloace de transport $M_1 \cdots M_5$, care la un moment dat se află la punctele de lucru $A_1 \cdots A_5$. În etapa următoare este necesară deplasarea mijloacelor de transport la punctele de lucru $A'_1 \cdots A'_5$, unde se află

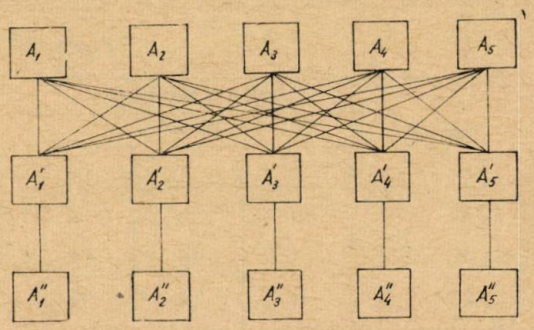


Figura 2

materialele $m_1 \cdots m_5$ ce trebuie transportate în $A''_1 \cdots A''_5$ (fig. 2). Astfel materialul m_1 trebuie transportat în A''_1, m_2 în A''_2 ş.a.m.d.

Fiecare dintre mijloacele de transport $M_1 \cdots M_5$ se poate deplasa la oricare din punctele de lucru $A'_1 \cdots A'_5$, pentru a transporta materialele la destinaţie, elementul variabil fiind distanţa parcursă.

Avem de-a face cu un număr de $n! = 5! = 120$ variante în care se poate efectua acest transport şi se pune problema găsirii variantei corespunzătoare unei distanţe de parcurs totale minime. Acestei variante îi corespunde în mod evident un optim al consumului de carburanţi, al uzurii utilajului, solicitării personalului etc.

Întocmim matricea distanţelor (tabela 11) şi trecem la rezolvarea acesteia pe baza etapelor stabilite anterior.

Tabela 11

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A''_1	190	40	70	200	150
A''_2	80	170	90	110	120
A''_3	60	140	60	70	90
A''_4	100	70	50	160	210
A''_5	110	90	120	130	180

— Matricea A_0 —

Etapa 1 *Tabela 12*

130	0	20	130	60
20	130	40	40	30
0	100	10	0	0
40	30	0	90	120
50	50	70	60	90

— Matricea A_1 —

Vectorii A''_1, A''_3, A''_4 conţin toate elementele din matrice. $n = 3$; $n_1 < n$ şi problema nu este rezolvată.

Etapa 2 *Tabela 13*

110	0	0	110	40
0	110	20	20	10
0	90	0	0	0
10	0	0	60	90
0	0	20	10	40

— Matricea A_2 —

Vectorii A_1, A_2, A_3, A''_3 conţin toate elementele nule. $n = 4$; $n_1 < n$.

Etapa 3 *Tabela 14*

110	0	0	100	30
0	110	20	10	0
10	100	10	0	0
10	0	0	50	80
0	0	20	0	30

— Matricea A_3 —

Cel mai mic element din matricea A_2, care nu este cuprins în nici unul din numărul minim de vectori conţinînd toate elementele nule, este 10.

Procedînd conform etapei 3 de calcul obţinem A_3, care reprezintă matricea optimală.

Repartiţia optimală este următoarea :

$A''_1 - A_2$	40
$A''_2 - A_1$	80
$A''_3 - A_5$	120
$A''_4 - A_3$	50
$A''_5 - A_4$	130
Total	420 km

Bibliografie

[1] Kaufmann, A. *Methodes et Modeles de la Recherche Operationnelle.* Ed. Dunod, Paris, 1962.

[2] Miller, D.W., Starr, M. K. *Executive Decisions and Operations Research.* Ed. Printice Hall, 1960.

[3] Churchman, Ackoff, Arnoff. *Introduction to Operations Research.* New York, Ed. John Wiley, 1957.

[4] Kuhn, H. W. *The Hungarian Method for the Assignament Problem.* Nav. Res. Log. Quart 2, nr. 1 şi 2, martie-iunie 1965, p. 83—98.

(Articol intrat în redacţie la 5 noiembrie 1968)

ENERGETICA peste hotare

Baraje în Iran

Ing. *Focşa Vl.* şi ing. *Căciulescu Şt.* *)

Articolul prezintă aspecte ale realizărilor iraniene în domeniul construcţiilor hidroenergetice, pe care autorii le-au vizitat cu ocazia deplasării efectuate pentru perfectarea unui contract de proiectare între Institutul de studii şi proiectări hidroenergetice (I.S.P.H.), Industrialexport şi Ministerul Apelor şi Energiei din Iran.

I. Condiţii naturale

a) *Relief.* Iranul este o ţară muntoasă : spre frontiera de nord şi spre Marea Caspică, şiruri de munţi cu vîrfuri pînă la 5600 m continuă de la frontiera cu Turcia pînă la cea cu Afganistanul ; spre vest, sud-vest şi sud o fîşie continuă de munţi, lată pînă la 300 km, cu vîrfuri atingînd 5200 m ; spre est şiruri continue de munţi cu vîrfuri pînă la 4000 m mărginesc graniţa cu Pakistanul şi Afganistanul.

Vastul podiş cuprins în interiorul acestui patrulater de munţi marginali este împărţit la sud în două, printr-un şir de munţi cu vîrfuri ce ating 4400 m. Podişul are spre nord cote de 1200—1300 m (Teheran este la cota 1240 m). În jumătatea dinspre vest a podişului, cu cote de 1500—1700 m, sînt situate vechile capitale persane Suza, Persepolis, Ispahan, Şiraz. Jumătatea de est a podişului, cu cote de 1000—600 m, din cauza lipsei complete de precipitaţii, este un deşert de piatră, loess şi lut. Depresiuni înalte şi văi adînci în largile şiruri de munţi completează aspectul variat al reliefului ţării.

b) *Temperaturile.* Diagramele din figura 1 ilustrează variaţiile temperaturilor medii lunare în cîteva puncte din Iran.

c) *Precipitaţiile.* În afară de fîşia îngustă din nord, între munţii Elbrus şi Marea Caspică şi zona munţilor înalţi din vest, în restul ţării precipitaţiile sînt insuficiente pentru a asigura vegetaţia ; în multe regiuni, jumătate de an sau chiar în tot timpul anului nu cade nici o picătură de ploaie.

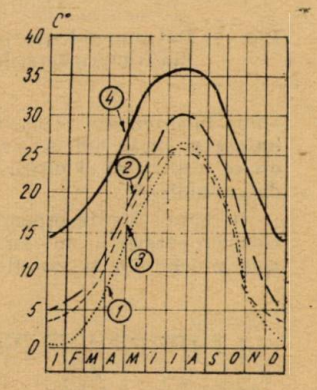


Fig. 1. Variaţia temperaturilor medii lunare în unele localităţi din Iran (latitudine nordică, longitudine estică, altitudine — m.d. M.D.) :

1. Tabriz : 38° 05′ — 46° 17′; 1362
2. Teheran : 35° 41′ — 51° 19′; 1191
3. Mashad : 36° 16′ — 59° 38′; 985
4. Abadan : 30° 22′ — 48° 15′; 3

În figura 2 sînt prezentate precipitaţiile medii şi variaţia lor în cîteva localităţi din Iran.

d) *Reţeaua hidrografică.* Relieful Iranului împarte cursurile de apă în trei mari bazine hidrografice :

— Spre bazinul Mării Caspice curg rîurile : Aras, rîu de frontieră (Q_{med} la vărsarea în rîul Kura — 250 m³/s), Seffid-

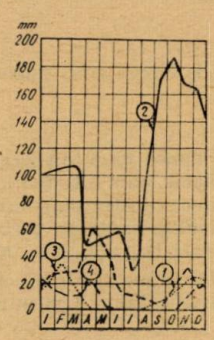


Fig. 2. Repartiţia anuală a precipitaţiilor în unele localităţi din Iran (latitudine nordică, longitudine estică, precipitaţii medii anuale — mm) :

1. Tabriz : 30° 03′ — 46° 17′; 291
2. Rasht : 37° 15′ — 49° 36′; 1257
3. Teheran : 35° 41′ — 51° 19′; 197
4. Abadan : 30° 32′ — 40° 15′; 102

*) Ing. Vlad Focşa este şeful de proiect pentru Sistemul hidroenergetic şi de navigaţie Porţile de Fier; ing. Şt. Căciulescu este şeful de proiect pentru barajul Argeş.

Rud (Q_{med} la confluența cu Shah Rud — 132 m³/s), Artex, tot rîu de frontieră, și o serie de rîuri cu bazine mai mici, dar cu debite importante, coborînd din muntele Elbrus, care primește precipitații bogate (1 000—1 500 mm/an), cum sînt rîurile Gorgan, Lar ș.a.

— Spre bazinul Golfului Persic și Marea Oman, cel mai important rîu este Karun, de circa 900 km lungime, navigabil pe 300 km (Q_{med} la Ahvaz — 394 m³/s), cu afluent principal Dez Rud (Q_{med} la Dezful — 287 m³/s); alte rîuri mai însemnate spre acest bazin sînt Karkheh (Q_{med} la Paypol — 124 m³/s), Marun (Q_{med} — 41 m³/s).

— Spre bazinul închis din centrul Iranului, rîurile, coborînd din munți, în parte alimentate de topirile de zăpezi,

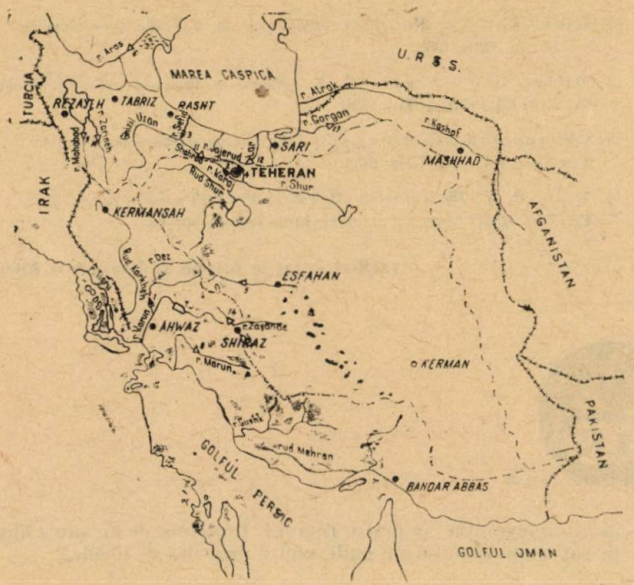


Fig. 3. Rețeaua hidrografică a principalelor cursuri de apă din Iran, cu barajele executate sau proiectate.

ajung în interiorul podișului în zone de mlaștini sau lacuri întinse și puțin adînci, acoperite de cruste groase de sare, ori se infiltrează și dispar în aluviunile groase care umplu depresiunile.

În figura 3 este prezentată rețeaua hidrografică a principalelor cursuri de apă, iar cu figura 4 se poate obține o imagine a debitelor și variației lor la cîteva rîuri importante.

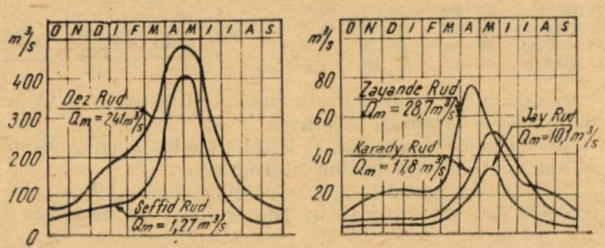


Fig. 4. Debitele medii lunare și anuale la cîteva rîuri importante din Iran.

Din figura 4 reiese că rîurile care se alimentează în special din ploi au mari variații sezoniere de debit, cum este Seffid-Rud, la care Q_{max}/Q_{min} = 1 000, în timp ce rîurile alimentate în principal din topirea zăpezilor de pe munții înalți au variații mai mici, cum este Karadj-Rud, la care Q_{max}/Q_{min} = 20.

Variațiile de la an la an, atît la debitele medii lunare cît și la cele anuale, sînt foarte importante, depășind 1 :3 între anii secetoși și ploioși.

II. Necesitatea creării de rezerve

Precipitațiile reduse, lungile perioade de secetă și temperaturile excesive fac ca, în afară de zona Caspică și a munților din vest, întinsul teritoriu al Iranului să fie complet lipsit de vegetație.

Peisajul pare lunar; munții și colinele cu stîncile sau deluviul la zi, fără un smoc de iarbă sau mărăcine, pe întinderi nesfîrșite. La rarele ploi, șuvoaiele se scurg repede șariind cantități imense din materialul neprotejat de vegetație. Agricultura, viața aici nu sînt posibile decît prin irigații.

Vechii perși au construit încă acum 2500 de ani multe baraje pentru acumularea apei în sudul Iranului și în bazinul interior, oprind apele la ieșirea din munți, înainte de a se infiltra în zona de podiș. Aceste baraje între timp au fost distruse, ori lacurile s-au împotmolit complet.

Problemele pe care le pune construcția de baraje în Iran sînt multiple: cea primordială este alimentarea cu apă a localităților și irigația, apoi oprirea inundațiilor și producția de energie; fiecare rîu sau regiune are însă problemele sale specifice.

Atît astăzi, cît și în perspectiva mai îndepărtată, problema de bază a gospodăriei apelor în Iran rămîne crearea de acumulări pentru asigurarea apei populației și folosirea apei cu cît mai bună eficiență în agricultura irigată.

La proiectarea barajelor se ține seamă de scopurile multiple, atribuindu-se fiecărei folosințe importanța de perspectivă. Acumulările trebuie să cuprindă volume mari pentru a putea egaliza variațiile sezoniere și cele de la an la an; trebuie să facă posibilă atenuarea și chiar înmagazinarea viiturilor. Volumele acumulărilor se cer importante pentru a li se asigura o viață mai lungă, ținînd seama de șariajul deosebit de activ, care produce în scurtă vreme împotmolirea lacurilor.

III. Baraje în exploatare în Iran

În Iran sînt în exploatare patru mari baraje: barajul Mohammad Reza Shah Pahlavi, pe rîul Dez; barajul Amir-Kabir, pe rîul Karadj; barajul Împărăteasa Farah (Mendjil), pe Seffid-Rud, și barajul Farahnaz Pahlavi (Latian), pe Jaj-Rud.

În cele ce urmează se va încerca o prezentare neuniformă, pentru a cuprinde diferitele aspecte ale construcției de baraje în această țară, insistînd, la descrierea unui baraj, mai mult asupra efectelor pe care le va favoriza construcția, la altul asupra proiectării, la altul asupra organizării șantierului și la altul asupra impermeabilizărilor și a execuției, încercînd astfel a se da o imagine mai completă asupra modului de rezolvare a diferitelor probleme complexe pe care le ridică realizarea acestor mari uvraje în Iran.

1. *Barajul Dez.* Este situat la circa 20 km la nord de orașul Andimeshk, într-un canion adînc și îngust al rîului Dez.

Scopul amenajării este multiplu: irigații, controlul inundațiilor, producția de energie electrică și îmbunătățirea navigației.

Rîul Dez are pînă la baraj un bazin de alimentare de 17 000 km², cu un debit anual de 287 m³/s, putînd scădea

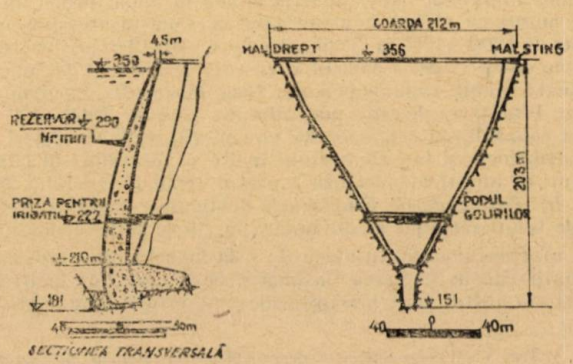


Fig. 5. Barajul Dez.

în anii secetoşi la 193 m³/s; debitul minim observat este de 49 m³/s.

Profilul topografic deosebit de favorabil a permis înscrierea unui baraj în arc de 203 m înălţime, cu un raport coardă-înălţime de 1,1/1.

Lacul creat, cu o suprafaţă de 6300 ha şi o lungime de 60 km, are un volum util de 3,3 km³, cuprins între cei 60 m de variaţie între nivelul maxim şi minim de exploatare. Pentru controlul inundaţiilor, nivelul se menţine coborît faţă de cel maxim cu 15 m, rezervînd un volum pentru atenuarea viiturilor de 0,84 km³, care poate fi umplut şi utilizat pentru producţia de energie iarna (ianuarie-martie), cînd nu sînt viituri.

Lacul regularizează debitele în aval, asigurînd un debit minim de 193 m³/s şi permite irigarea a 125 000 ha.

Barajul a fost construit într-o zonă de conglomerate, groasă de circa 600 m, denumite ,,conglomerate superioare de Bakhtiari'', gresoase, uniforme, fără falii şi fără goluri; la injectare, primeşte puţin ciment.

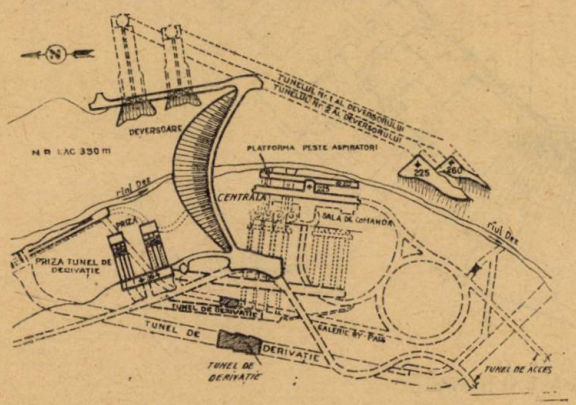


Fig. 6. Barajul Dez (vedere în plan).

Barajul e o cupolă subţire de beton, cu dublă curbură şi grosime constantă a arcelor, cu grosimea maximă la bază de 21 m şi de 4,5 m la coronament. A fost prevăzut un rost perimetral, care repartizează mai favorabil presiunile pe teren şi totodată realizează un profil aproape simetric pentru baraj. S-au prevăzut ploturi de 12 m.

Calculul barajului a fost condus de ,,Electroconsult'' (Italia).

Organele de evacuare ale barajului sînt:

— două deversoare în caverne 24 × 16,6 m săpate în malul stîng, cu vane-segment de 15 × 10,5 m la intrare; apa deversează în două puţuri înclinate, continuate prin două galerii betonate, situate la nivele diferite; galeria superioară cu ∅ 14 m, căzînd în total 75 m de la pragul deversorului pînă la ieşire, şi cea inferioară cu ∅12,6 m, căzînd 110 m; capacitatea de evacuare a ambelor deversoare este de 6000 m³/s la lac plin;

— trei vane de fund cu dispersie conică, cu ∅ 1,525 m, pentru irigaţii şi spălare, capabile să evacueze, la nivelul minim în lac, 3 × 53 = 160 m³/s;

— priza centralei electrice — două galerii betonate cu ∅ 10 m, fiecare ramificîndu-se în cîte patru conducte forţate de ∅ 4 m, căptuşite cu beton armat precomprimat, închise de vane-fluture ∅ 3,2 m.

Centrala electrică subterană, situată la piciorul barajului, în malul drept, este prevăzută cu opt grupuri Francis de 65 MW, din care două sînt în funcţiune şi două în montaj; caverna centralei electrice este de 35,2 m înălţime, 17,7 m lăţime şi 75,6 m lungime.

Pentru construcţia barajului, rîul a fost deviat printr-o galerie de 670 m lungime, de ∅ 15 m, cu un batardou din anrocamente în amonte de 27 m înălţime; capacitatea de deviere era de 2 000 m³/s.

Accesele au fost deosebit de dificile. Materialele soseau pe calea ferată pînă la Andimeshk şi apoi cu camioanele la antier; trebuie menţionate construcţia şoselei de acces de la Andimeshk şi a unui tunel de şosea de 6,5 km între coronamentul barajului şi centrala electrică (în panta de 8%).

Agregatele de beton s-au obţinut prin concasarea conglomeratelor. Gospodărirea de betonare a fost organizată pe verticală, silozurile metalice pentru agregate, aşezate pe o terasă superioară, fabrica de beton cu circa 200 m mai jos, unde erau şi silozurile de ciment. Betonul a fost pus în operă cu ajutorul a două macarale-funicular.

Betonarea barajului (480 000 m³) s-a efectuat într-un timp record: oct. 1961 — dec. 1962, 13 luni, cu o medie de 37 000 m³/lună şi 1500 m³/zi. Cele 180 000 t de ciment au fost aduse cu vagoane speciale, cîte un tren de 600 t/zi, apoi de la Andimeshk cu camioane şi descărcate cu pompe cu aer în silozuri.

Execuţia acestui mare baraj într-o regiune sălbatică, fără accese, fără vegetaţie, cu un climat torid vara, într-un termen aşa de scurt, a fost o performanţă remarcabilă, cu atît mai mult cu cît şi calitatea construcţiei este deosebit de reuşită.

2. *Barajul Karadj* *). Barajul este situat la 40 km nord-vest de Teheran şi a fost construit într-un canion îngust al rîului Karadj, cu bazin de alimentare din Munţii Elbrus.

Scopul construcţiei este multiplu: alimentarea cu apă a capitalei, irigaţii şi producţia de energie electrică.

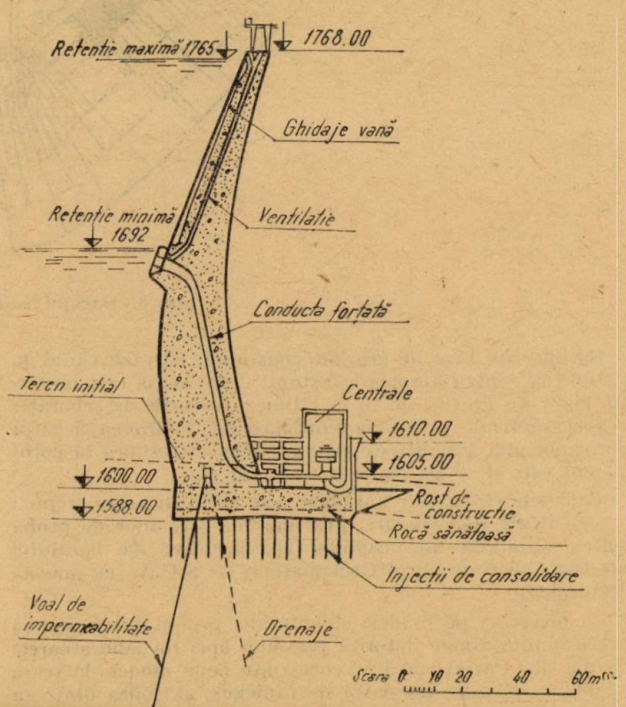


Fig. 7. Barajul Karadj (secţiune maestră).

Barajul din beton în arc, cu dublă curbură, are 180 m înălţime.

Profilul îngust al văii în zona barajului este deosebit de favorabil, iar în amonte valea se lărgeşte permiţînd o acumulare importantă pe acest rîu cu debit mediu de 18 m³/s. Amplasamentul barajului a fost determinat astfel încît să necesite excavaţii minime şi totodată să asigure o poziţie avantajoasă a fundaţiei arcelor pe direcţia de stratificaţie a stîncii.

În zona barajului există un pachet de circa 360 m grosime din diorite gris cu granule mari, foarte tari şi compacte; stratificaţia, perpendiculară pe vale, cade circa 40° spre aval; în amonte şi aval urmează tufuri. Deşi condiţiile geologice la suprafaţă prezentau o situaţie excelentă, au fost efectuate ample cercetări de teren pentru această importantă

*) Acest baraj a fost prezentat în detaliu de J. A. Veltrop F.R.P. Wengle Design of Karadj Arch Dam, Journal of the Power Division A.S.C.E. Vol. 90, nr. PO1, Paper 3827 (din care sînt reproduse şi figurile) şi Harza R. D. Edbrooke R. — Design of Karadj Hydroelectric Project-Journal of the Power Division ASCE, vol. 86, nr. PO4, Proc. Paper 2579.

construcție ; 61 foraje (1435 m), 6 galerii în care s-au făcut 31 încercări complete cu prese plate mari pentru determinarea coeficienților geotehnici ; modulul de elasticitate varia între 147 000 și 187 000, cu o medie de 167 000 kg/cm². Rezistența la rupere prin compresiune, pe carote, a fost determinată în laborator de circa 1000 kg/cm².

tuat de Electricité de France, după o metodă similară cu cea utilizată de Bureau of Reclamations, cu unele rafinamente permițînd utilizarea convenabilă a mașinii electronice de calcul IBM — 704) ;

— calcule simplificate, după metoda sarcinilor de probă pentru toate celelalte cazuri de încărcare.

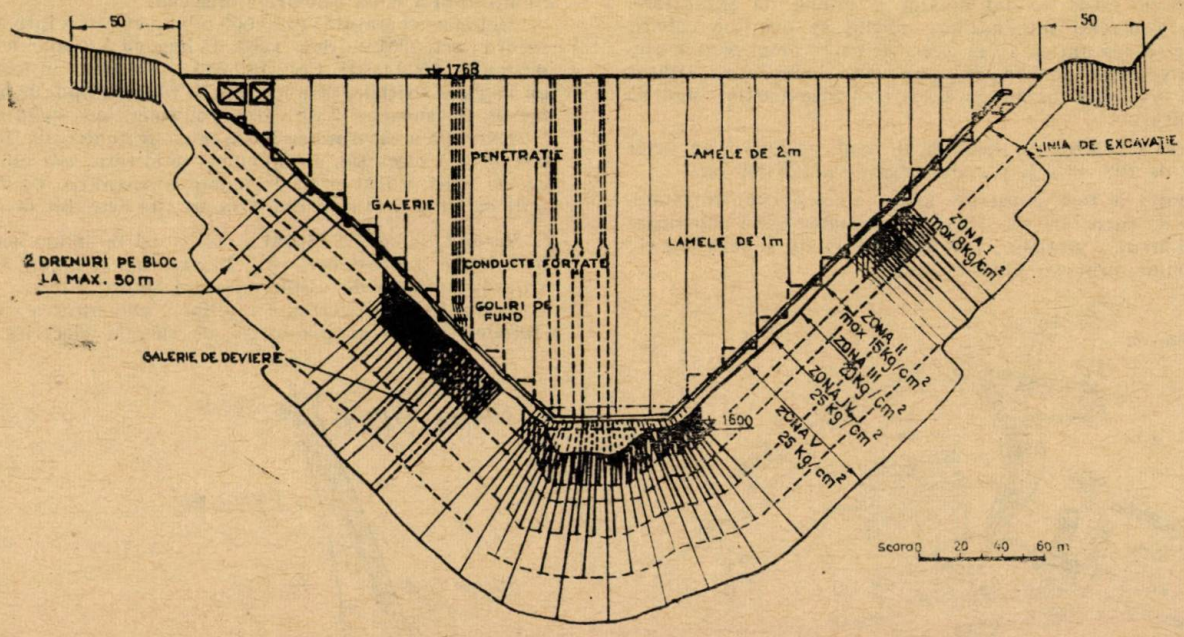


Fig. 8. Barajul Karadj (vedere și injecții).

Barajul are arce de grosime constantă, cu rază variabilă și unghi la centru aproape constant. Construcția este împărțită în 27 de ploturi de 15 m lățime. Rosturile de separație au fost verticale pe prima jumătate din înălțimea fiecărui bloc, apoi mai jos dirijate radial arcelor. Grosimea la coronament este de 8 m, iar la bază de 28 m.

Calculele statice ale barajelor s-au făcut în patru trepte :

— calcule mai sumare, prin metoda sarcinilor de probă pentru stabilirea dimensiunilor aproximative ale barajului (efectuate de Bureau of Reclamations — S.U.A., cu mașina electronică) ;

— încercări pe modele structurale, pentru determinarea dimensiunilor finale datorită presiunii apei (la laboratoarele Chatou din Paris) ; au fost construite două modele la scara 1 : 333 — primul din pastă de rumeguș, al doilea dintr-un amestec de gips și pămînturi diatomitice ;

— calcul complet, după metoda sarcinilor de probă, (efec-

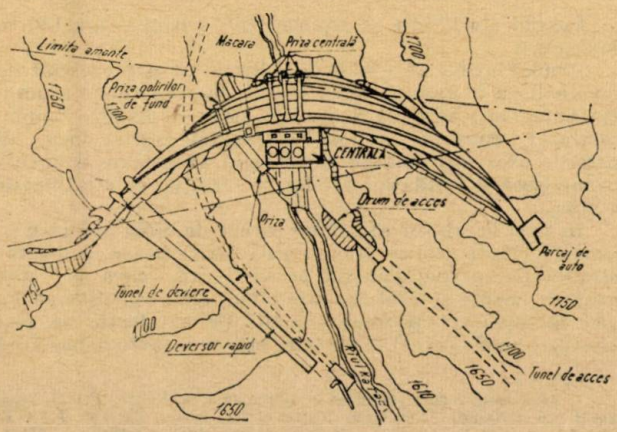


Fig. 9. Barajul Karadj (vedere în plan).

Au fost analizate 3, 5, 7 și 13 console, crescînd numărul consolelor analizate pe măsura treptelor de avansare a calculelor. La calculele finale au fost analizate 13 console și 6 arce, care au dat 64 puncte pentru calculul deplasărilor (ținînd seama de simetrie, 32 puncte) și 148 ecuații.

Criteriile pentru proiectare au fost : rezistența maximă la compresiune a betonului de 72 kg/cm² și la întindere de 11 kg/cm² ; la cutremur este permisă depășirea cu 33% și la suprasarcini temporare cu 25% a valorilor de mai sus.

Rezultatele finale ale calculelor barajului au arătat că rezistența maximă admisibilă în beton nu este depășită (într-un punct pe extradosul treimei inferioare — 73 kg/cm²) ; la sarcini extraordinare, față de 96 kg/cm² admisibil, s-au atins numai 82 kg/cm², tensiunile sînt neglijabile.

Avînd în vedere unele mici falii și fisuri locale ale terenului de fundație, a fost prevăzut un program extins de injectări cu ciment în foraje executate cu carotiere de ∅ 3″ ; cimentul injectat a fost fără adaosuri ; programul a constat din :

— o perdea de foraje verticale de 12—16 m adîncime, la 2 m distanță, pe traseul voalului, executate de pe stîncă înainte de excavațiile de finisaj, cu presiuni de 3 kg/cm², ca primă orientare pentru prezența fisurilor ;

— injecții de consolidare pe toată suprafața de fundație de 15 m adîncime, într-un caroiaj cu latura de 5 m, sub joasă presiune — 3 kg/cm² ;

— voal continuu pînă la maximum 100 m adîncime în albie și pe versanți, înclinație circa 25° spre aval, în foraje la 2 m distanță, cu presiuni de 8—25 kg/cm² în cinci zone de presiuni ; forajele s-au executat dintr-o galerie continuă, urmărind talpa fundației de 2,5 × 1,6 m ;

— drenaje la 3 m, de 50 m adîncime, forate din galeria de injecție, cu o înclinare de circa 20° spre amonte.

Infiltrațiile reduse măsurate în drenaje dovedesc eficacitatea injectărilor efectuate.

Betonul, din agregate concasate (diorit cu granula maximum 150 mm), cu un dozaj de 250 kg/m³, a fost preparat într-un turn de betonare și pus în operă cu două macarale-funicular cu punct fix și bene de 6 m³.

Cînd temperatura aerului depăşea 20°C, lamelele erau de 1 m grosime; sub această temperatură s-au admis lamele de 2 m.

Diferenţa de înălţime între ploturi nu depăşea în timpul construcţiei 10 m.

Răcirea betonului pus în operă s-a realizat cu ţevi metalice de 1", în serpentine la 2,30 m. Răcirea s-a făcut în două etape — prima pînă ce betonul căpăta temperatura ambiantă, a doua, pentru pregătirea injectării rosturilor, pînă ce betonul atingea o temperatură cu 2°C sub temperatura medie, care a fost de 10—15°, mai mult la partea superioară. Injectarea rosturilor s-a făcut la partea inferioară pe panouri de 20 m înălţime şi la partea superioară de 10 m.

Betonarea barajului a început în noiembrie 1958 şi s-a terminat în iunie 1961. Calitatea betoanelor a fost foarte reuşită, în afară de unele fisuri pe faţa amonte a barajului, a căror profunzime nu depăşea 1 m şi care au fost injectate cu ciment sub presiune joasă.

Proiectarea a fost dirijată de Harza Engineering Co., care a asigurat şi engineeringul; construcţia a fost executată de întreprinderea Marrison — Knudsen Co. International, ambele din S.U.A.

3. *Barajul Mendjil pe Seffid-Rud* *. Barajul este situat imediat în aval de confluenţa rîului Kisîl Uzen şi Shah Rud, la circa 200 km nord-est de Teheran. Barajul este de tipul „cu contraforţi", are 106 m înălţime de la fundaţie şi 417 m lungime la coronament.

Bazinul de alimentare pînă la baraj măsoară 57 800 km², cu un debit total anual de 4,15 km³ (variind în limite foarte largi, 1,73—7,39 km³, în perioada de observaţie 1949—1960). Regimul hidrologic are caracteristic topirile de zăpezi în aprilie-mai, care generează viiturile (în mai 1954 viitura a atins 2380 m³/s); debitul mediu este 132 m³/s, respectiv 2,3 l/s. km², debitele maxime au fost calculate: 1%—3100 m³/s, $1^0/_{00}$—4500 m³/s, $1^0/_{000}$—6000 m³/s.

Pe cele două rîuri principale s-au instalat staţii de transmitere automată, prin radio, a mărimii debitului (nivelului).

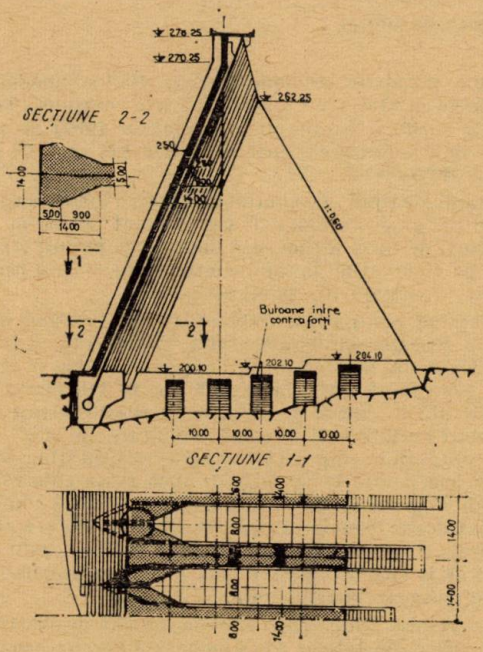


Fig. 10. Barajul Mendjil (secţiune prin contrafort).

Scopul reţenţiei de 1,76 km³ create de baraj, reprezentînd 42% din debitul anual total, este multiplu:

— sporirea suprafeţelor irigate de la 90 000 ha la 220 000 ha în cîmpia Guilara (în special orez);

— producţia de energie electrică; în timpul irigaţiilor se pot produce continuu 87,5 MW, respectiv 300 GWh/an, şi în restul anului 40 MW, respectiv 120 GWh; total anual 420 GWh;

— atenuarea viiturilor, respectiv înmagazinarea lor parţială în lac.

În profilul barajului, versanţii au înclinări pînă la 45° spre talweg. Barajul a fost construit în bara de andezit de circa 200 m grosime, care întretaie valea rîului la Mendjil; stratificaţia cade favorabil spre amonte; calitatea rocii e variabilă, pe malul drept, foarte bună (s-au obţinut carote de cîţiva metri pe care încercările în laborator au indicat 1 000 kg/cm³ rezistenţa la rupere prin compresiune); spre aval şi stînga, calitatea rocii scade, apar lame de bazalt etanşe, dar slabe, stînca este parţial zdrobită, necesitînd consolidări.

Programul injectării terenului de fundaţie a cuprins:

— injecţii de consolidare şi legătură 28 000 m, cu un consum mediu de ciment de 320 kg/m; injecţiile s-au făcut în două faze: prima de 25 m adîncime 1 foraj pe 30 m² şi a doua de 15 m adîncime, de densitate similară;

— voalul de etanşare amonte, injectat din galeria de la piciorul amonte al barajului într-un singur rînd de foraje de 100 m adîncime, la 3,50 m distanţă, şi un voal aval similar dar cu foraje de 35 m adîncime; consumul mediu de ciment a fost de 390 kg/m;

— drenuri forate în spatele voalului amonte. Infiltraţia totală a măsurat 39 l/s la lac plin, dovedind eficacitatea bună a injectărilor efectuate.

Barajul a fost constituit din 24 contraforţi independenţi, cu ciuperca de 14 m lăţime; contraforţii au paramentul amonte 1 : 0,4 şi cel aval 1 : 0,6; grosimea curentă a contrafortului este de 5 m, iar la talpă de 6 m; forma capului a fost realizată astfel ca să nu se producă eforturi de întindere. Capetele contraforţilor se unesc cu rosturi pe 2 m, cu izolaţie din tablă de cupru, apoi pe 35 cm etanşare de cauciuc şi în spate un dren Ø 25 cm; după trei ani, rosturile au fost injectate. Zidul de gardă amonte este de 9 m şi are o galerie circulară continuă Ø 2,4 m.

Cutremurul a fost admis de gradul 10, neexistînd observaţii şi norme seismice.

Avînd în vedere marea înclinare a versanţilor, contraforţii au fost uniţi prin butoni (grinzi aşezate pe stîncă) care împiedică alunecarea spre vale a contraforţilor.

La piciorul aval au fost prevăzuţi cuzineţi din beton pe care se sprijineau contraforţii. În rostul dintre cuzinet şi contrafort s-au montat prese hidraulice Freyssinet, cu care a fost echilibrată presiunea hidrostatică pe contraforţi; cei mai solicitaţi au atins 28 000 t la contraforţi; presele s-au reglat astfel ca să elimine deformaţiile remanente din contraforţi, apoi rostul s-a betonat. Prin acest reazem activ suplimentar s-a obţinut o repartizare mai uniformă a presiunilor maxime pe teren, s-a redus coeficientul de alunecare între beton şi rocă de la 0,72 la 0,57 şi s-au realizat rezistenţe mai favorabile la încovoiere în contraforţi, care rezemau pe un teren de fundaţie neuniform.

Pentru descărcarea debitelor din lac s-au prevăzut:

— evacuatoare de suprafaţă pe malul drept: două puţuri verticale care evacuează apa prin două galerii de Ø 8 m şi pot deversa la lac plin 3200 m³/s;

— evacuatoarele de semiadîncime: două deschideri amplasate în ultimul plot de pe malul drept al barajului, executat ca baraj de greutate; pot evacua 2000 m³/s la lac plin; funcţionează primăvara la ape mari;

— prizele pentru irigaţii, 3 pe malul drept, pot evacua 430 m³/s;

— golirile de fund pentru golirea lacului şi spălări, 2 bucăţi, capabile să evacueze 550 m³/s la lac plin.

În total, evacuatoarele pot descărca 6200 m³/s, fiind capabile, cînd funcţionează toate, să scurgă debitul cu asigurarea $1^0/_{000}$.

Priza pentru centrala hidroelectrică poate scurge 160 m³/s. Centrala este echipată cu cinci grupuri Francis de 17,5 MW (Q inst/turb. = 32,5 m³/s, n = 300 rot/min).

Devierea apelor s-a realizat prin galeria de deviere, capabilă să evacueze la nivelul maxim la batardou 1200 m³/s; batardoul putea fi deversat fără să fie distrus.

*) O prezentare completă a acestei amenajări o face J. Muller: „La construction du barrage de Mendjil sur le Seffid Rud." în Traveaux, ian. 1965 (din care s-au reprodus şi figurile).

Principalele volume de lucrări au cuprins: excavații în aluviuni 890 000 m³, în stîncă 710 000 m³ și betoane 930 000 m³.

Agregatele pentru betoane s-au obținut din concasarea andezitului într-un concasor primar (giratoriu — 38" — 400 t/h și apoi un concasor secundar — 200 t/h); s-au analizat reacțiile alcaline asupra acestor agregate de origine eruptivă și rezultatele au fost acceptabile. Cu aceste agregate nu s-a putut obține o greutate a betonului peste 2,2 t/m³. Pentru a mări lucrabilitatea betonului s-a utilizat nisip de rîu. S-a adăugat frioplast ca plastifiant și antrenor de aer (3—4% aer oclus). Dozajul de ciment a fost 250 kg/m. Paramentul amonte al contraforților s-a armat cu o rețea 6 ∅ 20 pe m.

Fabrica de beton automată producea 90 t/h. Silozurile de ciment aveau 4 × 700 t capacitate. Betonul a fost pus în operă cu trei macarale funicular radiale de 11 t capacitate, cu o deschidere de 630 m. S-a betonat în medie 1100 m³/zi.

În baraj au fost montate șase pendule (care au înregistrat deplasări la lac plin la coronamentul pînă la 25 mm), 70 teletermometre, 320 telepresmetre cu coardă, doze pentru măsurarea subpresiunilor, piezometre.

Construcția barajului s-a desfășurat după următorul program: între 1955—1956 s-au efectuat lucrările preliminare, cercetări de teren, proiectarea amenajării locale (drumuri, colonii); în 1956 au început instalațiile de șantier și galeria de deviere. Barajul s-a executat între 1958—1962; în aceeași perioadă s-a realizat și centrala electrică cu montajul primelor două grupuri generatoare. Lucrarea a fost inaugurată la 19 mai 1962.

Costul total al lucrărilor s-a ridicat la 60 milioane $.

4. *Barajul Latian pe Jaj-Rud.* Barajul Farah Pahlavi este situat la 25 km nord-est de Teheran și captează apele rîurilor Jaj și Lovarok care curg către sud din masivul Munților Elbrus.

Scopul principal al acestei amenajări este alimentarea cu apă potabilă și industrială a orașului Teheran; în același timp, barajul va asigura irigarea platoului Varamin și creează căderea unei centrale de vîrf de 45 MW.

Într-o etapă viitoare, pentru a face față cerințelor de apă mereu crescînde ale Teheranului, se prevede derivarea în lacul Latian a unor debite din bazinul nordic al Munților Elbrus.

Se prevede pentru această viitoare etapă construirea unui baraj pe rîul Lar și a unei galerii de peste 20 km lungime. Căderea, de circa 900 m, dintre cele două lacuri va fi utilizată pentru producerea de energie electrică.

În prima etapă, practic terminată în martie 1967, s-a realizat barajul Latian, centrala hidroelectrică de la piciorul

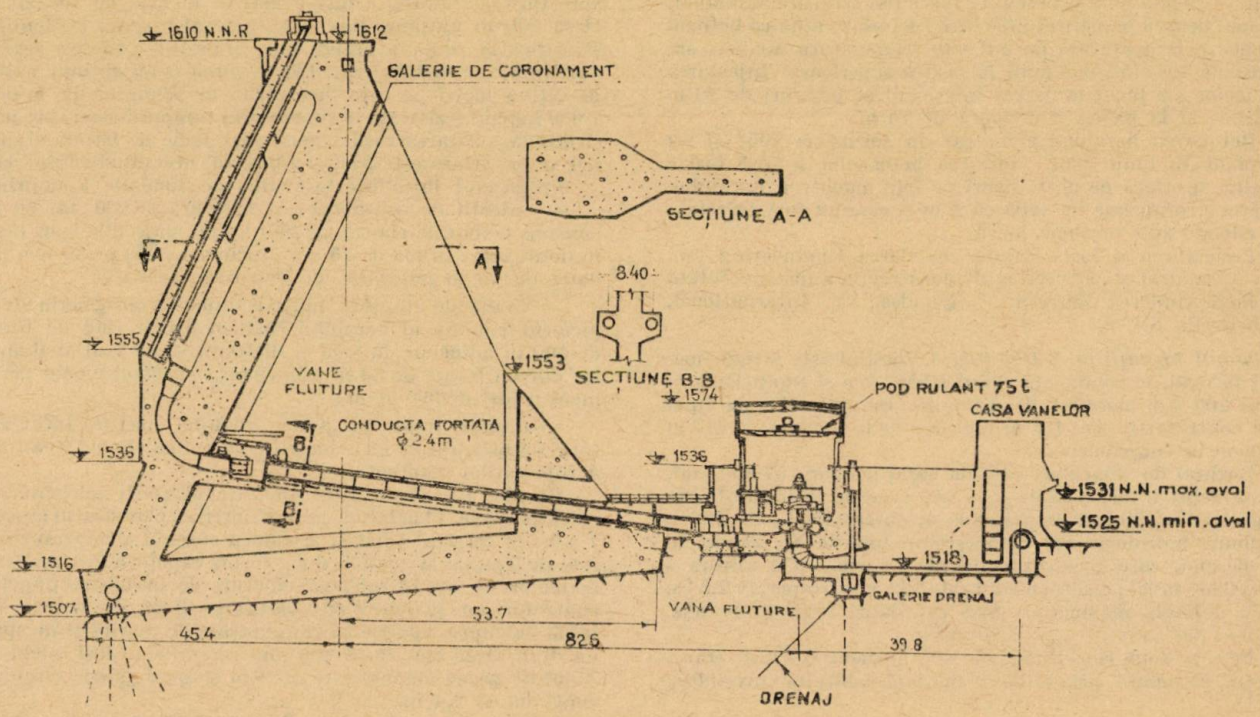


Fig. 11. Barajul Latian (secțiune prin contrafort).

barajului și galeria de aducțiune de 10 km lungime, care duce apele la stația de tratare nr. 3 a orașului Teheran. La data vizitării șantierului (decembrie 1967) se executa barajul de regularizare, situat la circa 1 km aval, cu o capacitate de 400 000 m³.

Barajul, de tipul „cu contraforți", are o înălțime constructivă de 107 m și o lungime la coronament de 450 m. Cei 22 contraforți de 14 m lățime sînt flancați de ploturi masive de beton, pe malul stîng barajul continuîndu-se cu o perdea de etanșare, executată din piloți secanți.

Soluția de baraj a fost stabilită ținîndu-se seamă de topografia și geologia amplasamentului. Complexitatea formațiilor geologice din amplasament a impus un intens program de studii. S-au forat astfel circa 4900 m în 110 foraje și s-au executat 215 m galerii de prospecții; aceste lucrări au fost completate cu încercări de compresibilitate „în situ". Lucrările au arătat că în ampriza barajului versantul stîng este alcătuit din mai multe benzi largi de rocă ce se adîncesc către aval sub unghiuri variind între 40 și 80°. Benzile din amonte sînt din calcare, urmate de cuarțite albe, care, deși fracturate, sînt curate și relativ solide. Pachetul următor constă din roci variind de la cuarțite masive pînă la marne friabile. În aval apare o masă de cuarțite roșii.

Pe versantul stîng apare o bandă îngustă de cuarțite roșii, care se ridică din talveg. Fața amonte a acestei benzi reprezintă un contact aproape vertical cu o formație denumită „oligocen verde", întrepătrunse cu tufuri. Către aval, banda de cuarțite coboară în adîncime, fiind acoperită cu circa 30 m de roci mai slabe.

Pentru îmbunătățirea rezistențelor fundației barajului pe malul stîng, s-au executat injectări de consolidare în afară de injecțiile voalului de etanșare.

În vederea determinării poziției optime a barajului și a cotelor de fundații, majoritatea excavațiilor s-au executat înainte de începerea betonării. Acest lucru a permis rotirea axului bara-

jului, astfel încît ploturilor situate pe versantul drept să li se îmbunătățească condițiile de fundare.

Pentru drenarea sigură a rocii de fundații s-au forat 3 000 m de drenuri de 75 mm din galeriile de drenaj dispuse sub fundații.

În golul forajelor s-au introdus tuburi de PVC Ø 50 mm perforate.

IV. **Execuția barajelor**

Barajele existente în Iran au fost executate de întreprinderi străine, cu experiență în asemenea lucrări. Asupra caietelor de sarcini privind calitatea execuției și-au spus cuvîntul proiectantul, apoi beneficiarul iranian, ajutat de experții străini permanenți sau de consultanți temporari.

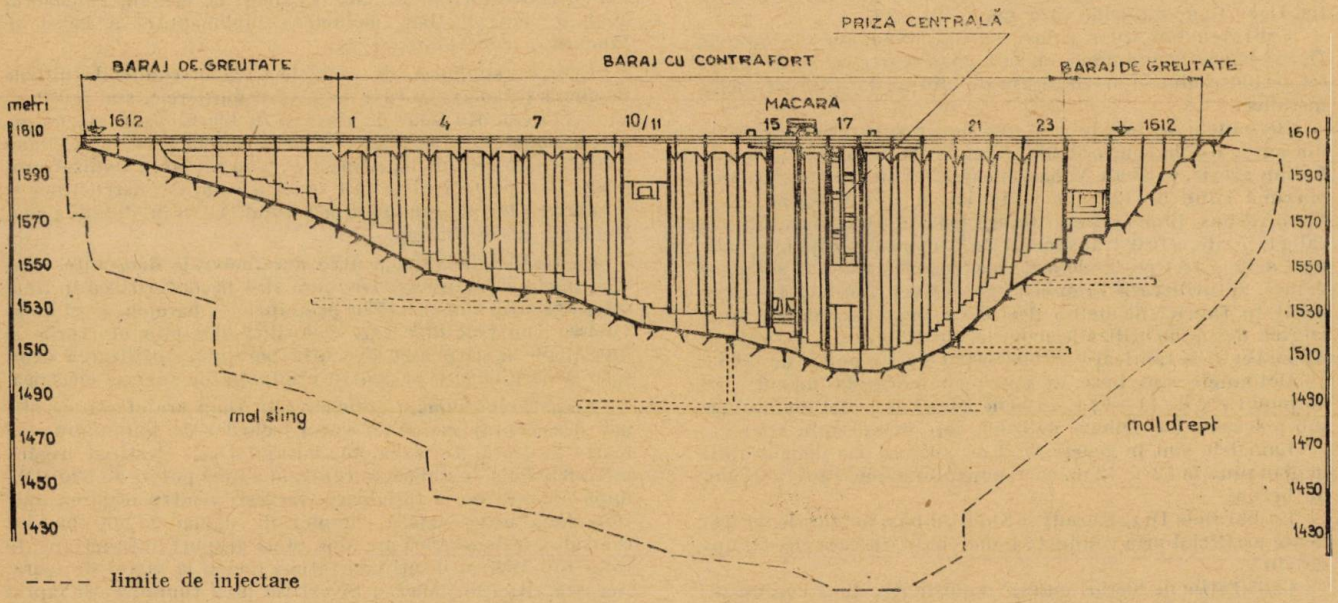


Fig. 12. Barajul Latian (vedere aval).

Geologia amplasamentului a obligat ca barajul să fie fundat pe un radier continuu, în rosturi executîndu-se la nivelul rocii de fundații galerii de drenaj și inspecție. Contraforții, cu o grosime de 4,50 m, se racordează la talpa fundației prin două vute.

Încercările pe modele pentru solicitări seismice, executate de „Laboratorio Nacional de Engenharie Civil" din Lisabona, au arătat că la ploturile de înălțime maximă este necesar să se închidă în aval contraforții pe aproape 1/3 din înălțime.

S-au făcut, de asemenea, încercări pe modele structurale pentru verificarea distribuției eforturilor în corpul barajului și în fundații, pentru diferite cazuri de deformabilitate a rocii.

Evacuatoarele de ape mari permit trecerea în bieful aval a unui debit de 1750 m³/s prin două deversoare: primul, situat pe versantul drept, continuat cu tronsonul aval al galeriei de deviere a apelor, este capabil să evacueze un debit de 1100 m³/s; cel de-al doilea, situat în zona centralei, cu o capacitate de 650 m³/s, se termină cu o aruncătoare în trambulină.

Priza de apă prevăzută în corpul barajului, într-unul din ploturile centrale, este o priză etajată cu trei vane-batardou de 4,00 × 3,00 m. Cele trei vane asigură evacuarea apelor spre Teheran. Pentru golirea lacului și evacuarea depunerilor, s-au montat două goliri de fund circulare de 1,6 m diametru.

Principalele volume de lucrări ale barajului Latian, exclusiv centrala, sînt: excavații 800 000 m³ și betoane 770 000 m³.

Betoanele, cu un dozaj de 250 kg/m³ ciment cu joasă căldură de hidratare, s-au executat cu agregate de concasaj (gresii). Pentru punerea în operă s-au utilizat trei macarale funicular cu punct fix, de 11 t capacitate. Turnarea betoanelor a durat trei ani (productivitate medie 1000 m³/zi), două luni pe an betonarea fiind oprită din cauza temperaturilor scăzute.

Șantierul a avut la vîrf 2000 muncitori cazați într-o colonie bine organizată, cu caracter semidefinitiv, socotindu-se aproximativ 4 m²/muncitor necalificat.

Personalul tehnico-administrativ, în număr de circa 200, a fost alcătuit din circa 100 persoane aparținînd firmei SASER, restul fiind iranieni.

Experiența de execuție este evidențiată în organizațiile de șantier simple, clare, cu distribuția judicioasă a diferitelor gospodării, pentru a avea accese favorabile, distanțe intermediare de transport reduse și totuși nimic înghesuit, amestecat, suprapus, folosind platformele naturale existente în teren etc.

Pentru primele lucrări s-au folosit utilaje cu productivitate ridicată, care după aceea au fost refolosite cu succes la lucrările următoare, chiar dacă între timp nu mai reprezentau ultimele tipuri la zi.

Avînd în vedere că în mare parte barajele s-au construit în regiuni izolate, sterpe și nepopulate, totul a trebuit să fie creat, în ce privește accesul, asigurarea condițiilor de viață și de lucru ale constructorilor. A fost necesar să se amenajeze:

— Drumuri de acces de mari lungimi, adesea în condiții foarte grele; acestea s-au executat cu platforme foarte largi pentru a permite încrucișarea ușoară a camioanelor de mare gabarit, toate materialele fiind aduse cu camioanele; în general, drumurile s-au asfaltat de la început. La barajul Dez a fost necesar un drum nou de 35 km, din care ultimii 6,5 km în tunel în canionul în care este construit barajul; la barajul Shah-Abbas — 40 km de drum nou etc.

— Colonii muncitorești: numărul de muncitori a fost de ordinul a 1500—2000 la construcția barajelor Dez, Latian, Shah-Abbas, iar numărul personalului tehnico-administrativ a fost de 100—200, din care 4—10 ingineri.

Au fost folosiți tehnicieni străini, cu experiență (cam 1/2 din personalul tehnico-administrativ); tehnicienii iranieni s-au calificat repede și mulți dintre ei, lucrînd astăzi la al treilea baraj, cu aceleași utilaje și în aceleași formații, dau bune randamente; muncitorii necalificați sînt din Iran.

În general, pentru muncitorii necalificați seconstruiesc dormitoare comune din cărămidă, pentru 25 persoane, socotind 4 m²/om; pentru personalul tehnico-administrativ cu familii s-au construit colonii separate, cu apartamente de peste 100 m².

— Diverse amenajări: a trebuit realizată alimentarea cu energie, apă, canalizare; cu greutate s-au putut crea în colonie mici spații verzi, pomi, iarbă, restul teritoriului fiind cu

totul lipsit de vegetație; alimentele, materialele, piesele de schimb, combustibilul au trebuit transportate cu camioanele de la zeci de kilometri.

Condițiile de climă sînt deosebit de grele, amplasamentele barajelor fiind adesea situate la altitudini mari (Karadj 1600 m, Latian 1600 m, Shah-Abbas — 2000 m). Temperaturile vara sînt foarte ridicate, iar iarna lucrul se întrerupe din cauza frigului (Latian două luni pe an, Shah-Abbas trei luni pe an). La Dez, temperaturile vara depășeau 40°C.

Calitatea lucrărilor a fost reușită, betoanele la barajele Dez și Karadj fiind bune, iar la Latian foarte bune. În parte fețele betonului se prezintă așa de bine și datorită cofrajelor metalice.

Betoanele au fost în cele mai multe cazuri confecționate din agregate de concasaj (de exemplu, la Mengil andezite, la Latian gresie, la Shah-Abbas calcare) în cinci sorturi, granula maximă fiind de 120 mm la Latian și 150 la Karadj și la Shah-Abbas. Cimentul cu căldură joasă de hidratare, 50—65 cal/g la 7 zile, a fost transportat de la mare distanță în containere de 2 × 10 t pe camioane. Ca adaos plastifiant și antrenor de aer, se utilizează Frioplast sau Serigel. Betonul este preparat în fabrici de beton destul de moderne, de exemplu fabrica de beton utilizată acum la un al treilea baraj (Shah-Abbas) este de fabricație Babitless, cu trei betoniere de 1500 l.

Betoanele sînt puse în operă cu macarale-funicular cu un punct fix de 11—12 t, cu bene Blowknox. Betonul ajunge sub macarale cu silobuze de 3 m³, care descarcă în bene.

Lamelele sînt în genere de 2 m grosime, iar dimensiunile în plan pînă la 12 × 12 m, corespunzător capacității fabricilor de beton.

La barajele Dez, Karadj și Shah-Abbas, betoanele au fost răcite artificial prin conducte îmbetonate, în care circula apa de riu.

Cantitățile de lucrări au fost importante, după cum rezultă din tabela de mai jos:

Barajul	Dez	Mengil	Latin	Shah-Abbas
Excavații, m³	670 000	1 600 000	800 000	260 000
Betoane, m³	480 000	1 000 000	770 000	550 000

Excavația deluviului s-a făcut cu buldozerul chiar la pante foarte înclinate. S-au utilizat foreze Atlas Copco reducînd cantitățile de exploziv pe ultimii 2 m și excavînd cu ciocanul pneumatic ultimii 5 dm.

Materialul excavat era transportat cu camioane de 25 t (9—16 buc.).

Ritmul de betonare a fost la Seffid-Rud, Latian și este la Shah-Abbas pînă la 1 000 m³/zi, respectiv 200 000—250 000 m³/an; la Dez ritmul a fost mult mai ridicat, 1500 m³/zi medie; betonarea, aproape 0,5 milioane m³, făcîndu-se fără întreruperi în 13 luni.

Injecțiile în voalul de etanșare s-au executat corect, la adîncimi mari de circa 100 m sub baraj la Dez, Karadj, Seffid-Rud și Latian, 80 m la Shah-Abbas.

Trebuie remarcată asigurarea mare cu care s-a dimensionat capacitatea de evacuare a lucrărilor de deviere a apelor, în unele cazuri corespunzătoare debitelor cu frecvență de 1%.

V. Probleme particulare ale construcției de baraje în Iran

Barajele construite sau în curs de execuție în Iran se caracterizează prin soluții moderne și economice (baraje în arc, baraje cu contraforți, anrocamente), proiecte îndrăznețe (toate cu înălțimi de peste 100 m, două din ele în jurul a 200 m și unul în proiect de 280 m înălțime), deși unele în condiții geologice dificile.

În acest sens, trebuie remarcat că barajul de beton în arc Dez, de 203 m înălțime, a fost fundat pe conglomerate. Pentru barajele cu contraforți Seffid-Rud și Latian, în condițiile unei geologii complexe, cu roci de tărie foarte variată, cu zone de alterație adînci, cu falii și breccieri, terenuri pe care la prima vedere părea mai indicat un baraj masiv ori din materiale locale, s-au adoptat totuși soluțiile mai economice de baraje din beton cu contraforți, aplicînd măsuri speciale pentru fundare în zonele mai slabe; adîncimea excavațiilor, rigidizarea radierului prin butoni, precomprimarea contraforților la bază, cuzineți de reazem la piciorul aval al contraforților, înclinarea suplimentară a bazei de fundație a contraforților ș.a.

Este de subliniat, de asemenea, că în condițiile dificile de climă și izolare în care se găseau șantierele, s-a reușit să se creeze condiții bune de viață și de lucru, să se amenajeze accese comode, să se insiste și să se obțină betoane de bună calitate, deosebit de bine finisate; s-au căutat și realizat proporții și aspecte reușite atît în arhitectura construcțiilor și încadrarea lor în ansamblul peisajului, cît și în detaliile constructive și de finisaj.

Cu toată admirația pentru aceste uvraje deosebite, relevăm unele aspecte negative, cum sînt neconcordarea în timp între execuția construcțiilor principale — barajele — și desăvîrșirea construcțiilor care valorifică din plin eforturile și investițiile mari pentru execuția barajului: utilizarea debitelor pentru irigație și pentru producția de energie electrică.

Această coordonare deficientă în timp are efecte cu atît mai dezavantajoase cu cît viața lacurilor de acumulare este foarte limitată. De exemplu, barajul Dez, destinat irigării a 125 000 ha și instalării în centrală a unei puteri de 520 MW, după opt ani de la terminare, servește pentru irigarea unei zone încă neamenajată complet de numai 24 000 ha, iar centrala hidroelectrică are abia două grupuri în funcțiune, în total 130 MW, utilizați mai intens numai la vîrful de seară. Această situație indică o investiție prea timpurie, și faptul este cu atît mai grav cu cît viața lacului este prevăzută doar la 50—60 ani, datorită aluvionărilor intense. Desigur, forurile oficiale sînt conștiente de acest fapt și intensifică eforturile pentru punerea mai grabnică în valoare a posibilităților pe care le-a creat barajul.

Considerăm totodată necesare, pentru barajul Dez, acțiuni energice pentru prelungirea vieții lacului de acumulare, în această zonă cu șariaje excesive: întreprinderea măsurilor care să facă posibilă evacuarea prin golirile de fund a curenților de densitate în timpul și după viituri, domolirea afluenților cu regim mai violent prin amenajarea torenților și evitarea suprapăscutului în zona acestor afluenți.

Concluzii privind proiectarea și execuția barajelor. Ca o concluzie a acestei treceri în revistă a realizărilor din Iran, în domeniul barajelor și construcțiilor hidrotehnice, se desprind următoarele:

— Acumulările realizate pînă în prezent beneficiază de condiții topografice foarte favorabile: raportul între volumul barajelor și volumul de apă acumulat atinge valori foarte ridicate (1 : 6 600 la Dez, 1 : 760 la Mengil).

— O problemă deosebită este cea a debitelor solide foarte mari, datorate lipsei practic totale a vegetației din bazinele amenajate, debite ce au obligat pe proiectanți să prevadă volume de împotmolire deosebit de importante, cum este volumul de împotmolire de 800 mil. m³ al lacului de acumulare Dez.

— Condițiile morfologice ale amplasamentelor în care s-au realizat pînă în prezent baraje sînt în general favorabile, iar pentru barajul Dez deosebit de avantajoase.

— Nu același lucru se poate spune și despre condițiile geologice ale amplasamentelor. Cu excepția barajului Karadj, la care roca de fundație este constituită din diorite rezistente și sănătoase, celelalte amplasamente au ridicat probleme din acest punct de vedere: barajul Dez este fundat pe un conglomerat omogen, dar care prezintă un modul de elasticitate relativ scăzut; barajul Latian este amplasat într-o zonă frămîntată geologic, cu condiții de fundare ce pot fi considerate dificile; barajul Mendjil a pus probleme speciale de consolidare și etanșare a rocii de fundație.

— Soluțiile tehnice, ale diferitelor firme de renume mondial care au proiectat barajele amintite, sînt moderne și uneori pot fi considerate îndrăznețe. Barajele și uvrajele anexă au

soluții care țin seamă de condițiile dificile de fundare. Acest fapt a făcut ca în anumite cazuri proiectele finale să fie definitivate în timpul execuției, după realizarea excavațiilor.

— O atenție deosebită s-a acordat problemei drenării rocii de fundație, realizîndu-se în acest scop galerii și ecrane drenante situate la o adîncime sub baraje (de exemplu, sistemul de drenare de la barajele Latian și Mendjil).

— Lucrările anexe (tunele, amenajări de coronamente, iluminat etc.) au fost în general modest soluționate. Pentru barajul Dez s-a remarcat că tunelele nebetonate prezentau infiltrații, iar la centrala Dez casa vanelor din subteran ca și puțul de acces la centrală erau nebetonate, deși roca prezenta infiltrații și în anumite zone ușoare alterări.

Nu același lucru se poate spune despre drumurile de acces, locurile de parcare și amenajările turistice.

— Lucrările se execută cu un număr de muncitori apropiat de cel de pe șantierele din R.S. România pentru amenajări similare. Numărul inginerilor care activează pe șantiere este însă redus, deși constructorul întocmește și detaliile de execuție. Acest fapt dovedește buna organizare a șantierelor și înalta calificare a cadrelor tehnice utilizate de diferitele antreprize străine care au executat barajele menționate.

— Lucrările s-au executat în condiții climatice grele (temperaturi ale aerului ce depășesc mai multe luni pe an 40°C), în zone aride situate la mari depărtări de centrele populate. Coloniile muncitorești și ale cadrelor tehnico-administrative au avut în general un caracter definitiv, prevăzîndu-se, după realizarea construcțiilor, utilizarea lor în scopuri turistice.

— Datorită temperaturilor ridicate din timpul zilei, în general betonările au loc noaptea, prevăzîndu-se în același timp și măsuri suplimentare de răcire a betoanelor sau agregatelor. În funcție de condițiile de climă ale amplasamentelor, în timpul iernii s-au întrerupt betonările pe intervale de 1—3 luni.

— La toate lucrările terminate și pentru cele în curs de execuție se remarcă calitatea betoanelor și în special a finisajelor. Datorită concurenței dintre diferitele firme care au construit baraje în Iran, finisajele s-au realizat de o calitate deosebită, care depășește uneori pe cea a betoanelor turnate la multe baraje executate în țări europene, cu tradiție în domeniul construcțiilor hidrotehnice.

— La realizarea fiecăruia dintre barajele menționate — construcții de mare anvergură cu volume de lucrări importante — au colaborat în general mai multe firme sub forma unor asociații sau firme independente pe specialități, beneficiar fiind Ministerul Apelor și Energiei, prin direcțiile sale regionale.

Aceste direcții regionale au un profil complex, coordonînd utilizarea apelor și realizînd lucrările prevăzute în planurile de dezvoltare a economiei Iranului.

VI. Programul viitoarelor construcții de baraje în Iran

Economia Iranului, după al doilea război mondial, s-a dezvoltat planificat, pe bază de planuri pe perioade de 5—7 ani. În cursul primelor trei planuri de dezvoltare s-au construit barajele Dez, Karadj, Mendjil și Latian. În cursul celui de-al treilea plan a început construcția barajelor de beton în arc de 100 m înălțime Shan-Abbas pe Zayande-Rud și, în cooperare cu Uniunea Sovietică, a barajului de greutate din beton pe rîul de frontieră Araks, de 48 m înălțime. La această a doua amenajare, cele două țări vor utiliza în părți egale resursele rîului: cîte jumătate din acumularea de 1,35 km³ (Iranul o va folosi la irigarea a 80 000 ha) și jumătate din potențialul hidroelectric în cîte o centrală electrică de 21 MW pe fiecare mal.

Al patrulea plan cincinal, 1968 — 1973, prevede realizarea următoarelor baraje:

a) Cu scopul acumulărilor pentru irigații, atenuarea viiturilor și producția de energie electrică, care se realizează în Khusistan de Autoritatea Apelor și Energiei — KWPA:

— Barajul Karun III pe rîul Karun, în apropiere de orașul Mesjid-i-Suleiman, proiectat de Institutul Harza Engineering din S.U.A., cu o înălțime de 280 m, din anrocamente, și o centrală electrică de 1 400 MW; lucrările de organizare a șantierului și de deviere a apelor au început în 1968;

— Barajul Marun, pe rîul Marun, în apropiere de Behbehan.

b) Cu scopul alimentării cu apă, irigații și energie electrică în zona Teheran.

Cele două rîuri în apropierea Teheranului, Karadj și Jaj, au fost captate prin barajele Amir Kabir și, respectiv, Latian.

Pentru a duce debite suplimentare în zona capitalei se vor capta două rîuri apropiate de pe versantul nordic al Munților Elbrus și se vor aduce prin tunele pe sub munți spre versantul sudic. În acest sens s-au proiectat:

— Barajul Telegan, pe Shah-Rud, și aducerea apelor captate printr-un tunel de circa 12 km în lacul Karadj. Studiile și proiectarea au fost încredințate întreprinderii Soletanche.

— Barajul pe rîul Lar, care va capta și permite devierea din acest rîu a circa 100 mil. m³ apă spre lacul Latian, printr-un tunel de circa 20 km lungime (proiect al firmei Sir Alexander Gibb and Partners, din Londra);

c) Baraje pentru irigații și alimentare cu apă în sisteme izolate:

— Barajul Shapour I, pe rîul Mahabad, care se varsă în lacul Rezaye în Azerbaidjan la 1,5 km amonte de orașul Mahabad. Barajul, de 46,5 m înălțime și 225 m lungime la coronament, este prevăzut din materiale locale.

Lacul de 0,23 km³ are ca scop irigarea a circa 20 000 ha și alimentarea cu apă a orașului Mahabad. Centrala electrică lîngă baraj va avea 6 MW (proiect iraniano-iugoslav). Lucrările vor începe în 1968 și vor dura circa 3 ani.

— Barajul Cirus cel Mare, pe rîul Zarinde-Rund, în Azerbaidjan, de 50 m înălțime, din materiale locale, va crea o acumulare de 0,65 km³, servind pentru irigarea a 85 000 ha. Centrala electrică lîngă baraj va avea 10 MW.

— Barajul Vosunkin, pe rîul Gorgan, de 15 m înălțime, se va construi din pămînt, formînd un lac de 0,55 km³; apa va servi pentru irigarea a 2 000 ha.

— Barajul Darius, pe rîul Kar, în provincia Fars, de 64 m înălțime, din pămînt, va forma un lac cu un volum de 0,98 km³, apa servind pentru irigarea a 36 000 ha.

— Barajul Minab pe Hallie-Rud, lîngă Golful Oman.

— Barajul Saveh la sud de Teheran.

Acest plan amplu de realizări de baraje în viitorii cinci ani se înscrie, ca și barajele construite pînă acum, în efortul însemnat de amenajare a apelor țării.

Planul de perspectivă este mult mai bogat. Pentru irigarea cîmpiei Khuzestanului sînt prevăzute o serie de alte baraje pe cele cinci rîuri principale curgînd spre această regiune și care scurg în anul hidrologic mediu circa 35 km³ apă:

— pe rîul Karkhen, trei baraje: pentru asigurarea irigării a 20 000 ha și pomparea spre lacul Dez a unor debite permițînd irigarea a încă 30 000 ha din acest lac;

— pe rîul Dez, încă un baraj — Baktiari;

— pe rîul Karun, rîul cu cel mai mare debit și cel important potențial hidroenergetic al Iranului, 7 baraje-Karum I — VII;

— pe rîul Zohrem — un baraj.

În momentul de față se desfășoară studii pentru cercetarea posibilităților de a construi baraje și în alte regiuni din țară, în viitoarele planuri de dezvoltare a Iranului. Rezultatele spectaculoase obținute pînă astăzi justifică încrederea reușitei realizării cu succes a viitoarelor programe de construcții de baraje în Iran.

CRONICA

Centralele industriale înfiinţate în cadrul Ministerului Energiei Electrice*)

Ing. **Luca Laurenţiu**,
D.P.O.M. — M.E.E.

1. Aşa cum se arată în Directivele C.C. al P.C.R. cu privire la perfecţionarea conducerii şi planificării economiei naţionale, aprobate de Conferinţa Naţională a P.C.R. din decembrie 1967, în centrul preocupărilor pentru perfecţionarea conducerii industriei se situează măsurile care prevăd apropierea acesteia de activitatea întreprinderilor, concentrarea forţelor şi întărirea stimulentelor pentru realizarea planurilor în condiţiile unei eficienţe economice crescînde. În acest scop, Directivele prevăd conducerea întregii activităţi în industrie pe trei verigi, cu atribuţii şi răspunderi bine determinate : minister, centrală industrială şi întreprindere.

Între acestea, centrala industrială constituie o unitate economică autonomă nouă, coordonată şi controlată de către ministerul de resort, şi este organizată prin gruparea mai multor întreprinderi. Dotată cu mijloace materiale şi băneşti, funcţionînd pe principiul gestiunii economice proprii, centrala industrială este condusă de un consiliu de administraţie şi un birou executiv, avînd în frunte un director general. Totodată, centrala industrială conduce activitatea întreprinderilor, organizează cooperarea dintre acestea, le acordă asistenţă tehnică, ştiinţifică şi, în general, le creează condiţii pentru desfăşurarea normală a producţiei, controlînd modul în care întreprinderile îndeplinesc sarcinile de plan.

2. În acest cadru general, prevăzut de Directivele aprobate de Conferinţa Naţională a P.C.R. din decembrie 1967, în cadrul Ministerului Energiei Electrice, prin HCM nr. 583/ /24.03.1969, s-au înfiinţat, cu caracter experimental, începînd cu 1 mai a.c., următoarele centrale industriale :

— Centrala industrială de producere a energiei electrice şi termice, cu sediul în municipiul Bucureşti, avînd ca obiect conducerea activităţii întreprinderilor de centrale electrice, de reparaţii şi de raţionalizări şi modernizări energetice, cît şi realizarea comenzii prin dispecer a sistemului electroenergetic naţional şi desfăşurarea activităţii de export a energiei electrice.

— Centrala industrială de transport şi distribuţie a energiei electrice, cu sediul în Municipiul Bucureşti, avînd ca obiect conducerea activităţii întreprinderilor de reţele electrice, atît în ceea ce priveşte transportul şi distribuţia energiei electrice, cît şi activitatea de proiectare şi de construcţii şi montaj din cadrul acesteia.

Cele două centrale industriale sînt organizate şi funcţionează potrivit statutelor specifice aprobate de către colegiul Ministerului Energiei Electrice.

3. Este de remarcat, ca un aspect specific din ramura energiei electrice, rezultat din funcţionarea interconectată a sistemului energetic naţional şi din comanda unică prin dispecer a acestuia , că indicatorii planului de stat privind producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice se vor stabili, urmări şi raporta numai la nivelul celor două centrale industriale. Întreprinderile de centrale electrice şi întreprinderile de reţele electrice primesc de la centralele industriale, cărora le sînt subordonate, indicatorii departamentului. Corelaţia cu bugetul statului este organizată şi se efectuează tot la nivelul celor două centrale industriale.

Energia electrică livrată de întreprinderile de centrale electrice în sistemul energetic naţional şi preluată de întreprinderile de reţele electrice se decontează centralizat numai între cele două centrale industriale şi nu între întreprinderi. Aceste reglementări, rezultate din analiza problemelor organizării ştiinţifice a conducerii întreprinderilor din ramura energiei electrice, simplifică sistemul informaţional pe ansamblul ramurii şi dau în acelaşi timp un caracter aparte acestor două centrale industriale, deosebit de cele din alte ramuri industriale, mărind răspunderea pentru deciziile luate de consiliul de administraţie.

De asemenea, se subliniază, tot ca un aspect specific în organizarea centralelor industriale din ramura energiei electrice, interdependenţa dintre ele, în ceea ce priveşte încadrarea în comanda unică de dispecer energetic, reglajul protecţiei electrice din nodurile sistemului interconectat şi funcţionarea instalaţiilor de telecomunicaţii care deservesc sistemul de comandă prin dispecer.

4. Statutele celor două centrale industriale din ramura energiei electrice axate pe satutul-cadru aprobat prin HCM 586/1969 prevăd posibilitatea ca acestea să aibă în subordine unităţi cu caracter de cercetare, de proiectare, aprovizionare, desfacere şi altele, necesare activităţii ei.

Din punct de vedere organizatoric, statutele centralelor industriale grupează atribuţiile acestora pe cele cinci funcţiuni principale ale unităţilor economice, şi anume :

a) atribuţiile din domeniul planificării şi urmăririi producţiei, precum şi a indicatorilor de muncă şi salarii ;

b) atribuţiile din domeniul cercetării dezvoltării, în care, în afară de cercetare şi proiectare, intră şi domeniul investigaţiilor şi cel al organizării producţiei şi a muncii ;

c) atribuţiile din domeniul comercial, al aprovizionării şi desfacerii (inclusiv exportul) ;

d) atribuţiile din domeniul problemelor de personal : pregătirea, selecţionarea şi promovarea acestuia, cît şi problemele de salarizare şi legislaţie a muncii ;

e) atribuţiile din domeniul financiar-contabil.

Statutele stipulează de asemenea modalitatea în care este organizată şi lucrează conducerea colectivă a celor două centrale industriale şi competenţele consiliului de administraţie, ale biroului executiv şi ale directorului general.

Înfiinţarea centralelor industriale din ramura energiei electrice este concomitentă cu aplicarea HCM 585/24.03 a. c., care prevede exercitarea unor atribuţii lărgite de către Ministerul Energiei Electrice şi întreprinderile subordonate în perioada de experimentare a măsurilor de perfecţionare a conducerii şi planificării economiei naţionale, ceea ce creează un cadru propice pentru iniţiativă şi aplicarea unor metode perfecţionate în gestiunea economică din ramura energiei electrice.

5. O dată cu înfiinţarea Centralei industriale de producere a energiei electrice şi termice, tot prin HCM 583/1969 s-a realizat şi măsura preconizată ca urmare a analizei problemelor organizării ştiinţifice a producţiei şi a muncii privind comasarea unor întreprinderi de centrale electrice. Ca urmare, sistemul de organizare a centralelor electrice grupează aceste unităţi (organizate ca exploatări sau secţii) în întreprinderi zonale mari, în cadrul cărora se poate organiza centralizat reparaţia agregatelor de bază, se concentrează activitatea economică — administrativă, reducîndu-se corespunzător personalul tehnico — administrativ şi se asigură o mai bună utilizare a cadrelor tehnice şi economice de specialitate cu studii superioare.

Caracterul experimental al acestei organizări impune o atentă supraveghere şi analiză a funcţionării întregului sistem organizatoric din ramura energiei electrice şi va permite pe baza acesteia perfecţionarea lui.

*) Redacţia revistei invită cititorii ca, pe perioada experimentării, să facă propuneri de perfecţionare a acestei noi organizări în paginile revistei noastre.

Cea de-a VI-a Conferință a economiei energetice industriale

Între 15—20 septembrie a.c. va avea loc la Varna — R. P. Bulgaria — „Cea de-a VI-a Conferință industrială pentru economia energetică", cu tema: ridicarea eficienței în energetica industrială.

Lucrările conferinței se vor desfășura în două secții, patru simpozioane și cinci grupuri de specialitate.

În cadrul secției I vor fi dezbătute problemele tehnico-economice privind dezvoltarea economiei energetice în industrie și legătura acesteia cu alimentarea teritorială cu energie.

În cadrul secției a II-a vor fi dezbătute unele probleme legate de alimentarea cu căldură și energie electrică a întreprinderilor industriale.

În simpozioane se vor dezbate teme referitoare la: centrale de termoficare, pregătirea cadrelor energetice destinate întreprinderilor industriale, indicatori și norme de consum în industrie și probleme de investigații în energetică.

În cadrul grupelor de specialitate va fi analizată dependența dintre procesele tehnologice la diferitele ramuri industriale și energetică. Astfel, vor fi supuse discuțiilor industria siderurgică și cea a metalurgiei neferoaselor, industria chimică, industria sticlei, industria textilă și industria de ciment.

Limbile oficiale în care se vor desfășura lucrările conferinței vor fi: rusa, germana și franceza.

Conferința va fi urmată de un număr de șase excursii independente, între 1—4 zile, și un număr de trei excursii locale, de 3—4 ore.

Participarea poate fi organizată prin O.N.T., iar formularele de înscriere și taxele de participare trebuie înaintate la Secretariatul conferinței — Sofia, str. Rakovski 108/IV, cam.405, sau la Balkanturist — Sofia, Piața Lenin, nr. 1.

PRIMA ECLUZĂ DE NAVIGAȚIE A SISTEMULUI HIDROENERGETIC ȘI DE NAVIGAȚIE PORȚILE DE FIER A FOST DATĂ ÎN EXPLOATARE

Praguri stîncoase cu adîncimi insuficiente, rapiduri cu viteze mari ale apei, șenale înguste, curenți traversieri, anafoare și stînci subterane au făcut dintotdeauna ca defileul de 116 km lungime al Porților de Fier să reprezinte pentru navigație sectorul cel mai dificil de pe întregul curs navigabil al Dunării.

Lucrările de îmbunătățire a condițiilor de navigație executate în ultimii o sută de ani, constînd din derocări, construire de șenale în albie, instalații pentru tracțiune auxiliară, semnalizări ș. a. nu au reprezentat decît rezolvări parțiale. Navigația continua să întîmpine stînjeniri importante, care provocau oprirea în perioadele de ape mici, timpul parcurs și costul transportului fiind de 3—4 ori mai mare decît pe sectoarele învecinate; totodată, aceste dificultăți limitau capacitatea de trecere a sectorului la circa 16 milioane tone, cifră aproape atinsă în ultimul an.

Singura rezolvare radicală a tuturor dificultăților de navigație o constituia construcția unui baraj cu ecluze. Costul unor asemenea lucrări nu putea fi însă suportat de navigație singură, deoarece taxele care ar fi rezultat ar fi făcut prohibitivă trecerea navelor. Construcția a fost posibilă numai în cooperare cu sectorul energetic care, la actualul grad de dezvoltare a economiei celor două țări riverane, poate utiliza cantitățile enorme de energie rezultate din amenajarea sectorului — circa 11 miliarde kWh an.

Soluționarea concomitentă a acestor două utilități majore aduce avantaje atît energeticii, cît și navigației, prin reducerea contribuției fiecăreia din cele două ramuri la investiția totală.

Toate problemele tehnice privind navigația în sectorul Porțile de Fier au fost rezolvate în acord cu comisia Dunării, iar dimensiunile ecluzei sînt cele maximale recomandate de această comisie: lungimea camerelor de ecluzare — 310 m, lățimea — 34 m, adîncimea pe prag — 4,5 m. Aceste dimensiuni fac ca ecluzele de la Porțile de Fier să fie cele mai larg dimensionate ecluze fluviale pe plan mondial. Ele asigură, prin capacitatea și caracteristicile lor tehnice, dezvoltarea traficului pe o foarte largă perspectivă.

Pentru siguranța navigației, în acest sector cu trafic petrolier intens, ecluzele au fost separate, fiind dispuse cîte una lîngă fiecare mal. Tot din motive de siguranță a funcționării echipamentelor, diferența de nivel de 34 m între amonte și aval a fost împărțită în două, ecluza fiind prevăzută să lucreze în două trepte. Cu toate acestea, poarta intermediară dintre treapta amonte și aval a ecluzei suportă presiuni ale apei de valoare record, iar vanele sector invers de la galeriile de alimentare ale ecluzei depășesc cu mult, ca dimensiuni, ceea ce s-a realizat pînă astăzi. De remarcat că porțile și vanele au fost fabricate integral în țară.

Deschizînd calea convoaielor de vase prin ecluză, începe o eră în care greutățile și pericolele pentru navigația pe Dunăre în sectorul Porțile de Fier vor dispare pentru totdeauna.

Ing. Vl. Foeșa

CĂTRE AUTORI

Autorii care doresc să obțină exemplare din numerele revistei „Energetica" în care vor fi publicate articolele lor sînt rugați să comunice în scris redacției, o dată cu predarea manuscrisului articolului respectiv în redacție, numărul de exemplare dorit (care nu va putea depăși însă cifra de 10 exemplare de fiecare autor).

Aceste exemplare vor fi fără copertă exterioară și fără reclame, iar contravaloarea lor, de 5 lei exemplarul, va fi reținută din drepturile de autor.

Redacția

Recenzii

A. VLAD și C. MORȚUN : **Matematica modernă — instrument principal în organizarea și conducerea științifică a activității economice**

Prin grija Oficiului de documentare și publicații tehnice al Ministerului Energiei Electrice a apărut cartea menționată în titlul recenziei. Lucrarea a văzut lumina tiparului într-un moment oportun, în care necesitatea exprimării cantitative a legilor și rezultatelor în știința organizării și conducerii activității întreprinderilor a condus la pătrunderea masivă a metodelor matematice clasice și moderne în această știință.

Lucrarea cuprinde mai multe părți :

În partea întîi, „Ce este matematica modernă", se face un istoric succint al matematicii, de la origine pînă în zilele noastre, arătîndu-se direcțiile principale de dezvoltare.

În partea a doua, „Mematematica modernă în rezolvarea problemelor economice", se arată introducerea metodelor matematice în rezolvarea problemelor de organizare și conducere, se definește modelul matematic al unui proces economic, organizatoric etc., se definește cercetarea operațională. Se definesc modelele deterministe, probabiliste și cibernetice, introducînd astfel lectorul în cibernetica economică.

Tot în cadrul acestei părți, se expun sumar fundamentele statisticii matematice și ale calculului probabilităților, precum și elemente de teoria mulțimilor, în măsura necesară dezvoltării ulterioare a unor capitole din cercetarea operațională, și anume :

Teoria grafelor, în capitolul 5 al acestei părți, care cuprinde definiții, terminologii, conceptele orientate și neorientate ; mai pe larg, metoda drumului critic, cu variantele sale ; algoritmul lui Ford-Fulkerson, algoritmul lui Foulkes, Kruskal.

Programarea matematică, în capitolul 6 al părții a doua, care conține categoriile de programări, dezvoltîndu-se algoritmele lui Dantzig și steeping-stone. Un subcapitol este destinat programării dinamice.

Teoria firelor de așteptare, în capitolul 7, care dezvoltă schema fenomenelor de așteptare, modelele clasice ale fenomenelor de așteptare, metodologia rezolvării lor.

Teoria jocurilor de strategie și a deciziei, în capitolul 8, care cuprinde noțiuni fundamentale, jocuri de tip neumanian, jocuri contra naturii și schema teoriei deciziei.

Teoria informației, în capitolul 9, care dezvoltă terminologia, aspectul cantitativ al informației, cu teoria lui Shannon, și elemente de transmitere a informației. Un ultim subcapitol se ocupă de aplicațiile teoriei informației.

Metoda simulării, în capitolul 10 al părții a doua, cuprinde simularea directă, simularea Monte-Carlo și cîteva aplicații mai simple.

În capitolul 11 al părții a doua sînt expuse alte metode și teorii ale cercetării operaționale, și anume : teoria stocurilor, teoria siguranței în funcționare și a înlocuirii utilajelor, modele matematice ale sistemelor economice de tipul Keynes, Lange, Leontiev, Mănescu.

În capitolul 12 al părții a doua autorii expun cîteva aplicații în energetică ale unora dintre teoriile parcurse în capitolele anterioare. Astfel, se rezolvă o programare prin metoda drumului critic, se indică aplicarea programării liniare la stabilirea amestecului optim de cărbune, la repartiția optimă a sarcinii, la stabilirea programului de investiții în energetică ș.a.

În considerații finale se dau unele indicații asupra ierarhizării obiectivelor de optimizat.

Meritul autorilor este de a fi elaborat o lucrare de sinteză și informare, a cărei lectură deschide porțile largi ale unei discipline moderne, în plină evoluție, cu rezultate spectaculoase și adepți numeroși.

Rolul lucrării este mai mult de a sensibiliza cititorul și de a-l face receptiv față de aceste preocupări moderne. În continuarea lecturii acestei lucrări este necesar un contact permanent cu aceste preocupări, folosind lucrările și periodicele de specialitate.

Expunerea este clară, chiar elegantă, citirea făcîndu-se cu ușurință. O recomandăm atenției tuturor inginerilor, tehnicienilor și economiștilor din cadrul Ministerului Energiei Electrice.

Ing. **A. Măeriș**

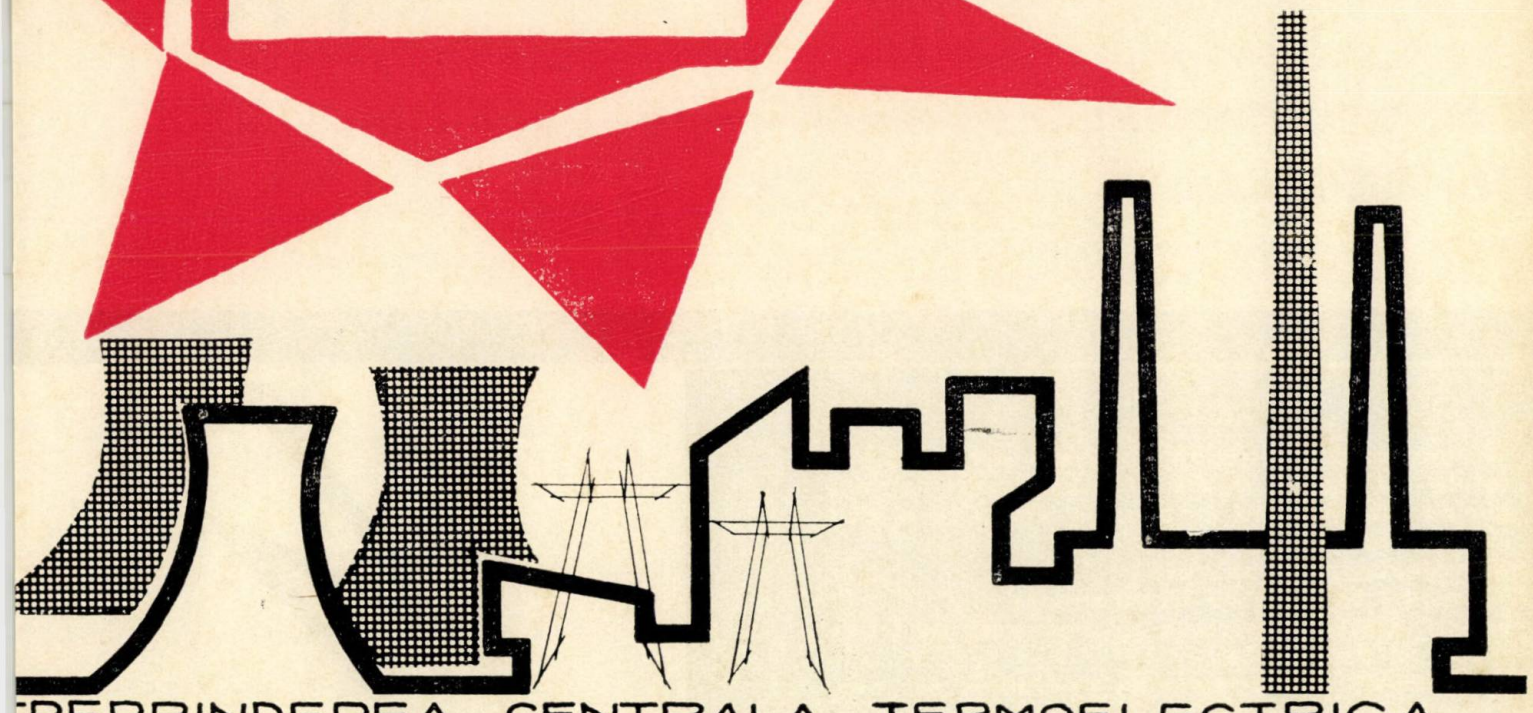
— o —

I.C.T.

steaua roșie

FÎNTÎNELE

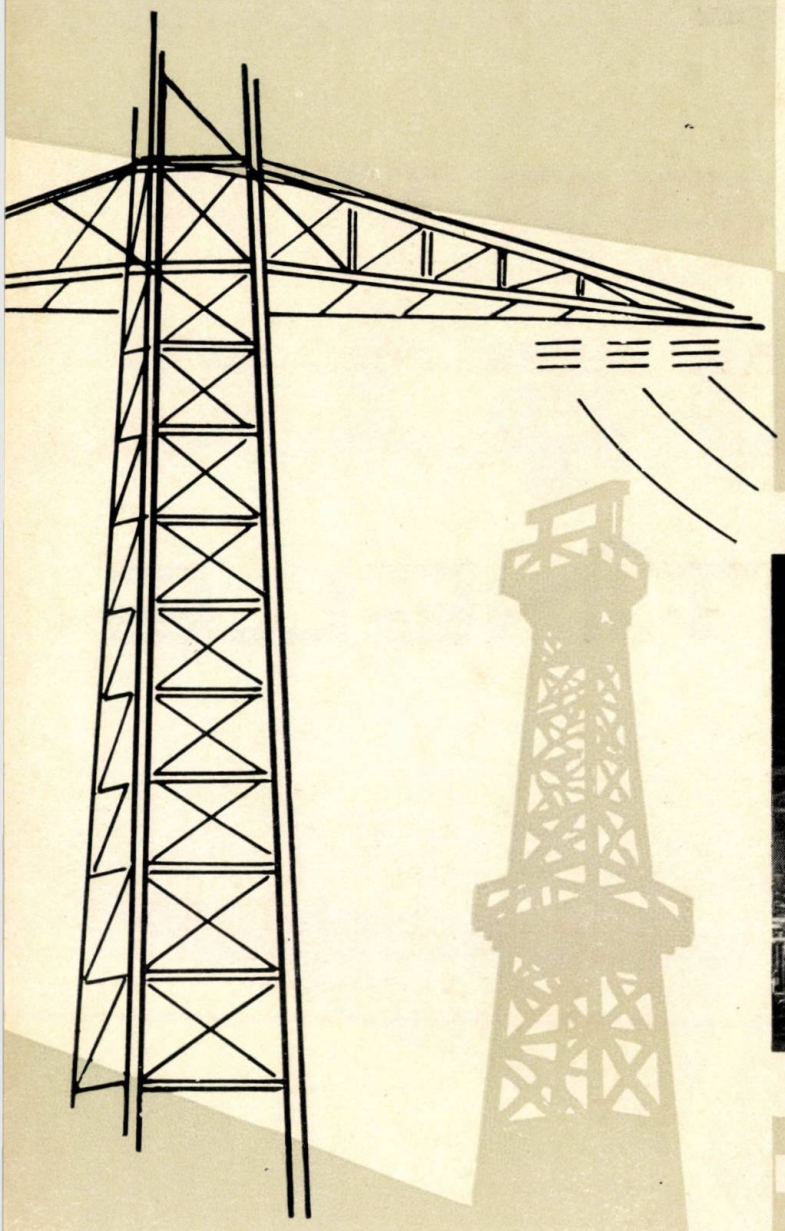
- produce și furnizează energie electrică sistemului energetic național
- I C T „Steaua Roșie" este înzestrată cu instalații și utilaje moderne

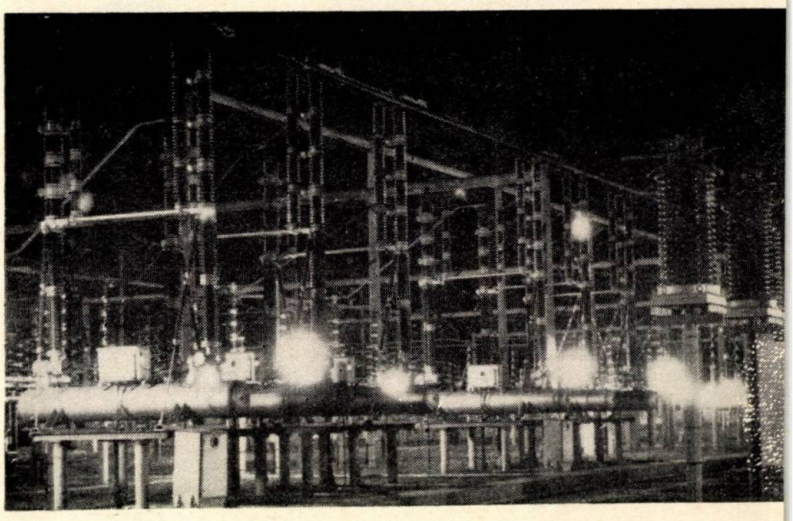


ÎNTREPRINDEREA CENTRALA TERMOELECTRICA

IRE Ploeşti

Cu sediul în Cîmpina, str.Culturii nr. 33
Tel. 2150—2151





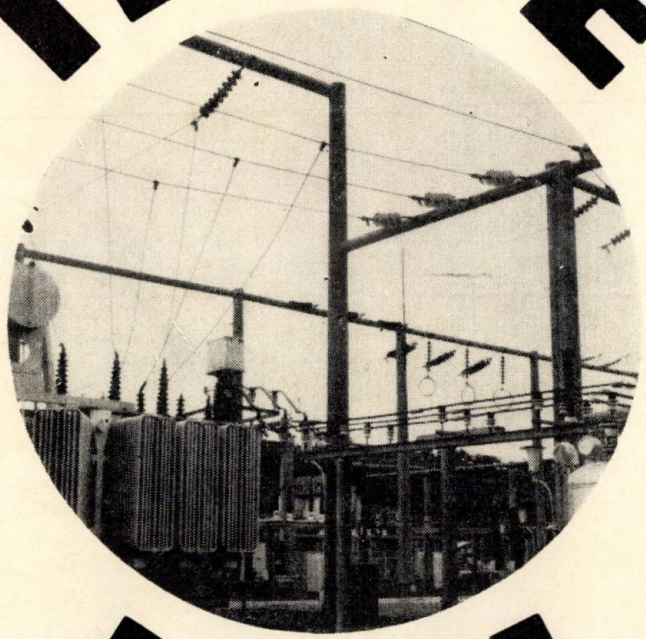
IRE

PLOIEŞTI

- **transportă şi distribuie energie electrică prin reţele de înaltă, medie şi joasă tensiune, asigurînd alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din regiune;**
- **proiectează şi execută:**

— **posturi şi staţii de transformare,**
— **linii electrice aeriene şi subterane de transport şi distribuţie,**
— **racorduri şi branşamente de înaltă şi joasă tensiune,**
— **instalaţii electrice interioare şi de iluminat exterior.**

I.R.E. CLUJ



Întreprinderea Regională de Electricitate Cluj — Str. 30 Decembrie nr. 27 telefon 239, 90.

- Transportă şi distribuie energie electrică în reţelele de înaltă, medie şi joasă tensiune.
- Execută reţele electrice de medie şi joasă tensiune pentru electrificări rurale, extinderi de reţele, instalaţii interioare în mediul urban şi rural şi posturi de transformare.
- Proiectează reţele, posturi şi staţii de transformare, electrificări rurale, automatizări şi modernizări în staţii.

INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTARI HIDROENERGETICE

ISPH

PROIECTE

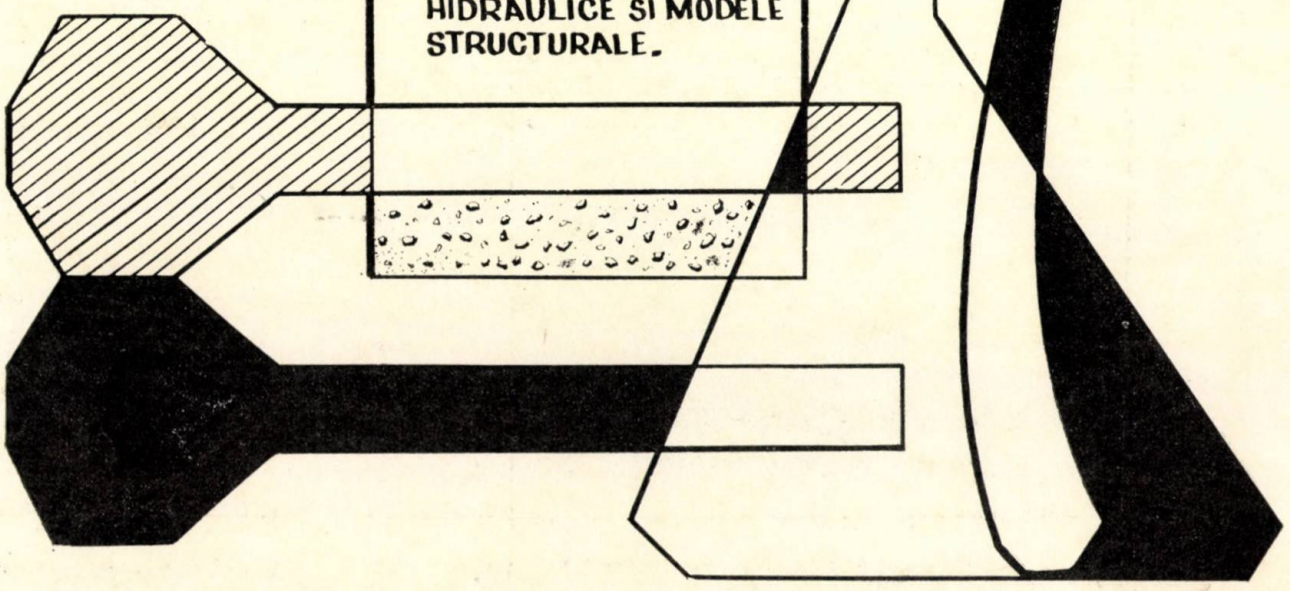
- AMENAJĂRI DE COMPLEXE HIDROENERGETICE.
- UZINE HIDROELECTRICE (BARAJE, ADUCTIUNI, CENTRALE) ETC

STUDII

- DE TEREN GEOLOGICE, GEOTEHNICE, GEODEZICE, HIDROLOGIGE ȘI TOPOGRAFICE.

CERCETĂRI

- DE LABORATOR CU CARACTER GEOTEHNIC PENTRU LIANTI, BETOANE, CHIMISMUL APELOR PE MODELE HIDRAULICE SI MODELE STRUCTURALE.

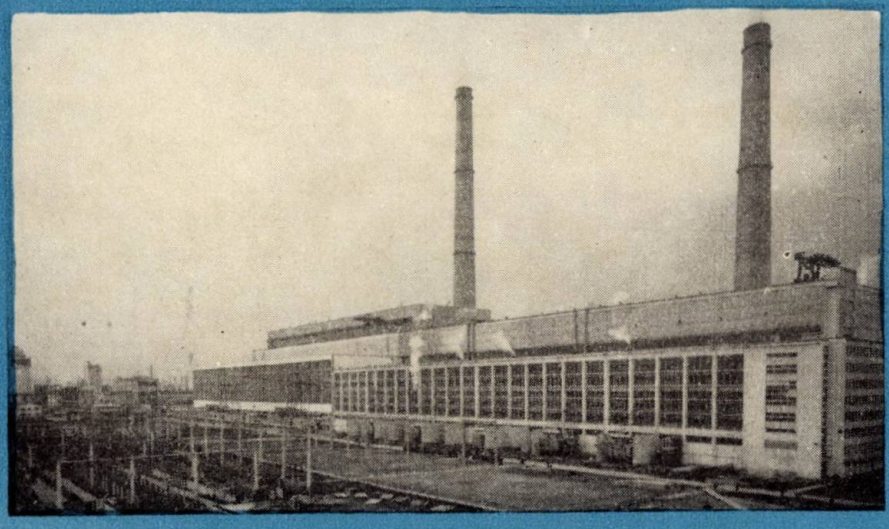


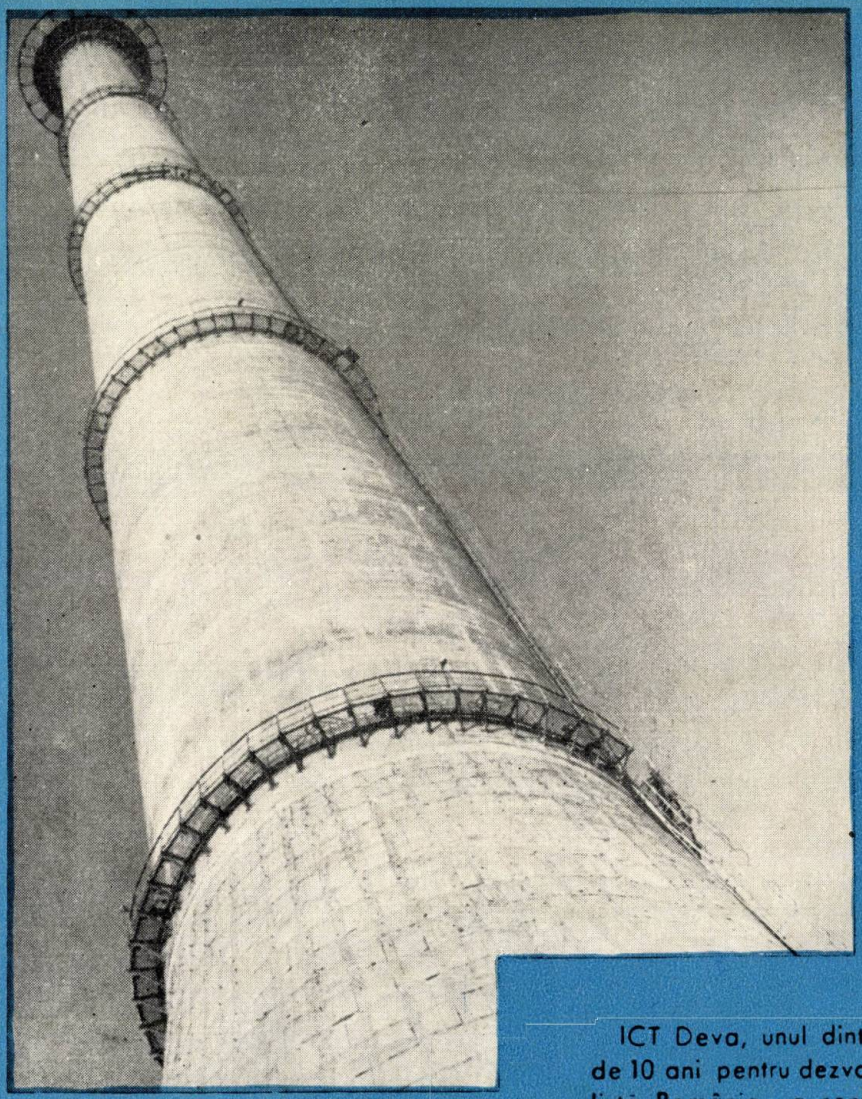
i.c.e.t. craiova

- produce și furnizează energie electrică sistemului energetic național
- produce și livrează căldură consumatorilor industriali din zonă

- C E T Craiova dispune de o putere instalată de 1000 MW

- C E T Craiova este înzestrată cu grupuri moderne și instalații cu un înalt grad de automatizare și de concentrare a comenzilor





ICT DEVA

ICT Deva, unul dintre principalele obiective ale planului de 10 ani pentru dezvoltarea energeticii din Republica Socialistă România, va contribui substantial la electrificarea țării.

ICT Deva se construiește în două etape, din care prima etapă, de 800 MW, va fi terminată în anul 1971.

Combustibilul folosit va fi huila de Valea Jiului. Gazele naturale și păcura vor fi utilizate la pornirea și stabilizarea flăcării.

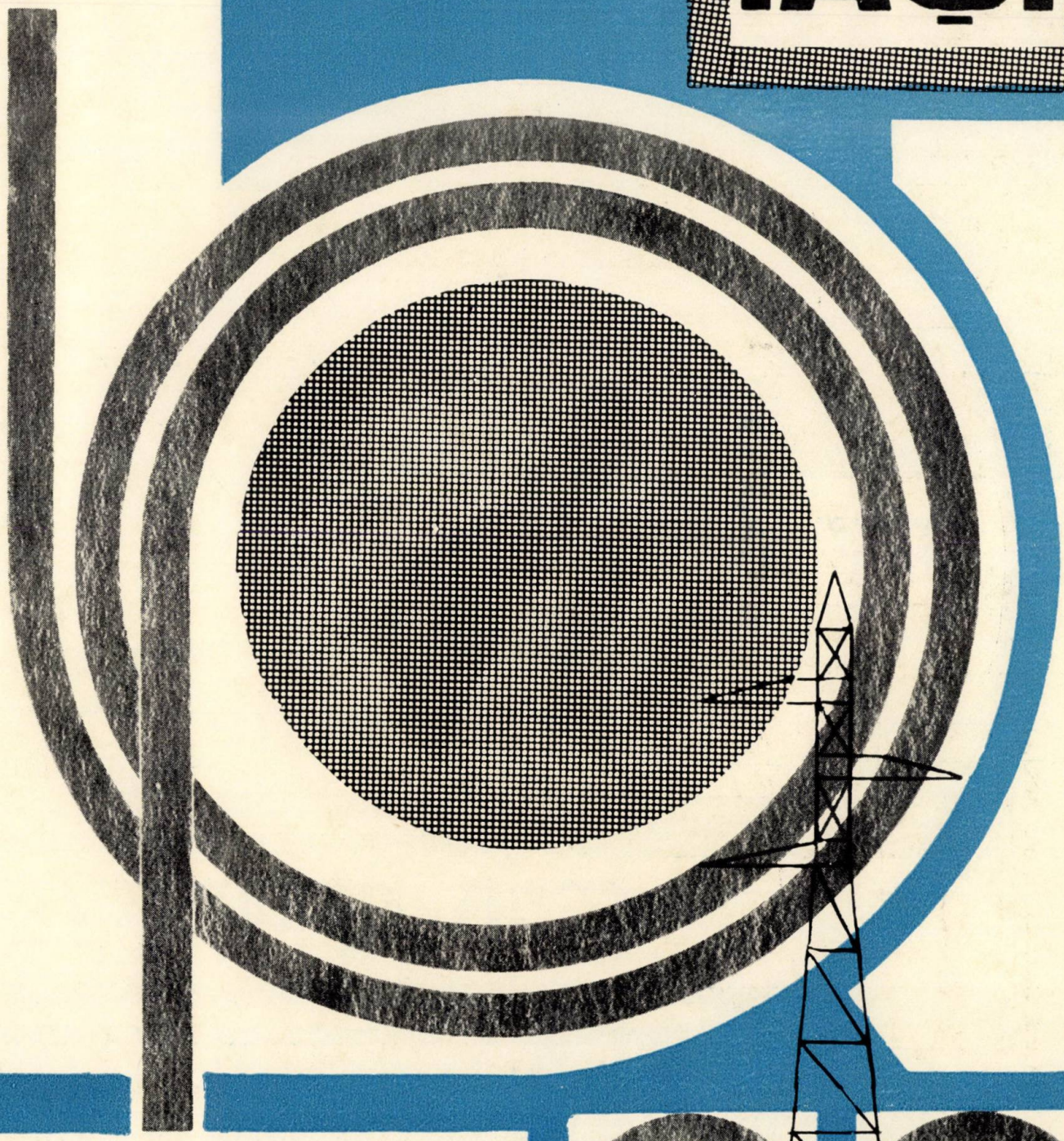
Echipamentul termomecanic va fi constituit din cazane cu trecere forțată avînd parametrii: presiunea 140 ata, debitul 660 t/h, temperatura aburului supraîncălzit 550°/550 C și turbine cu condensație cu putere unitară de 200 MW.

Generatoarele electrice sînt răcite cu hidrogen și apă, fiind de construcție modernă.

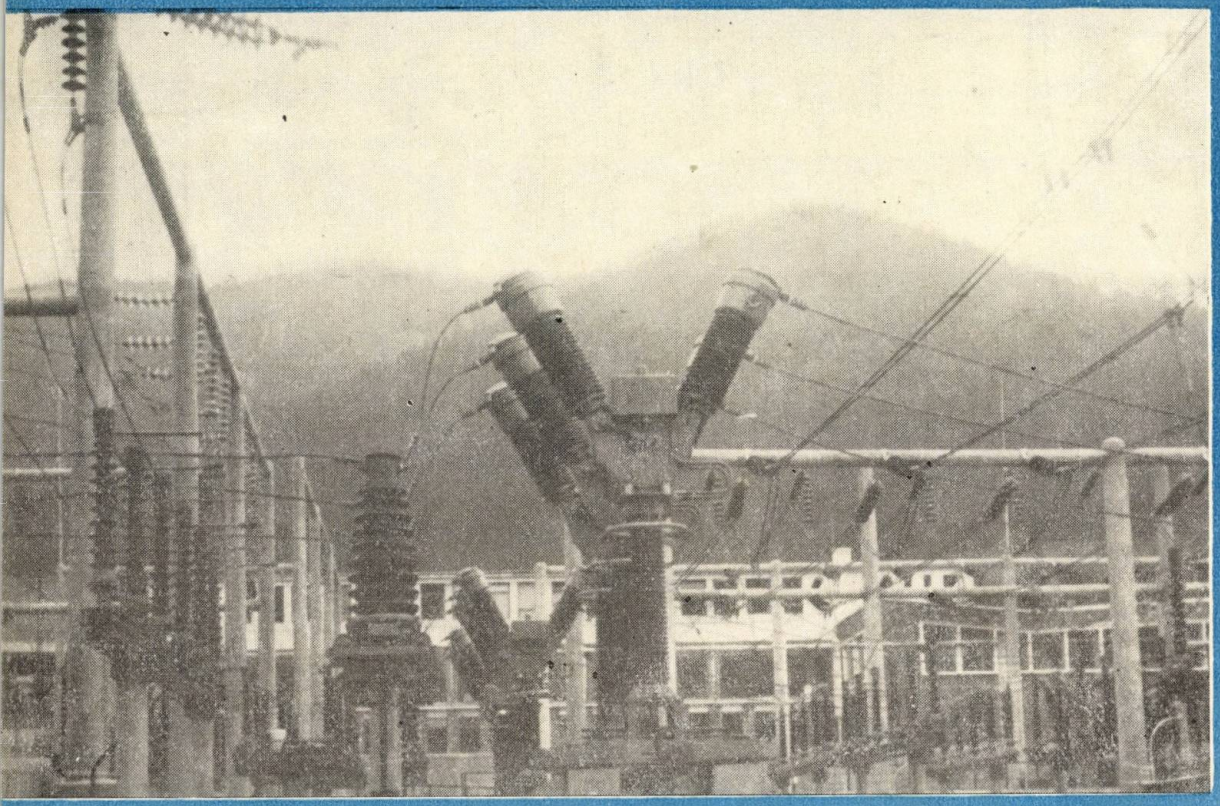
Funcționarea optimă a ICT Deva va fi efectuată cu ajutorul calculatoarelor electronice, iar principalele puncte de control vor fi supravegheate prin ecran de televiziune.

Asigurarea cu apă de răcire se va efectua prin devierea cursului riului Mureș pe o distanță de circa 4 km.

ire IAȘI



- transportă și distribuie energie electrică pentru consumatorii industriali și casnici
- proiectează și execută lucrări de construcții-montaj și instalații interioare la consumatori industriali și casnici



intreprinderea electromontaj CÎMPINA

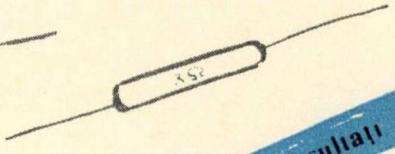
Execută :

- linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- linii electrice de distribuţie
- reţele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
- staţii de transformare 35—400 kV
- staţii de distribuţie şi posturi de transformare
- reţele de iluminat public
- electrificări rurale

IPRS BĂNEASA

PIESE RADIO

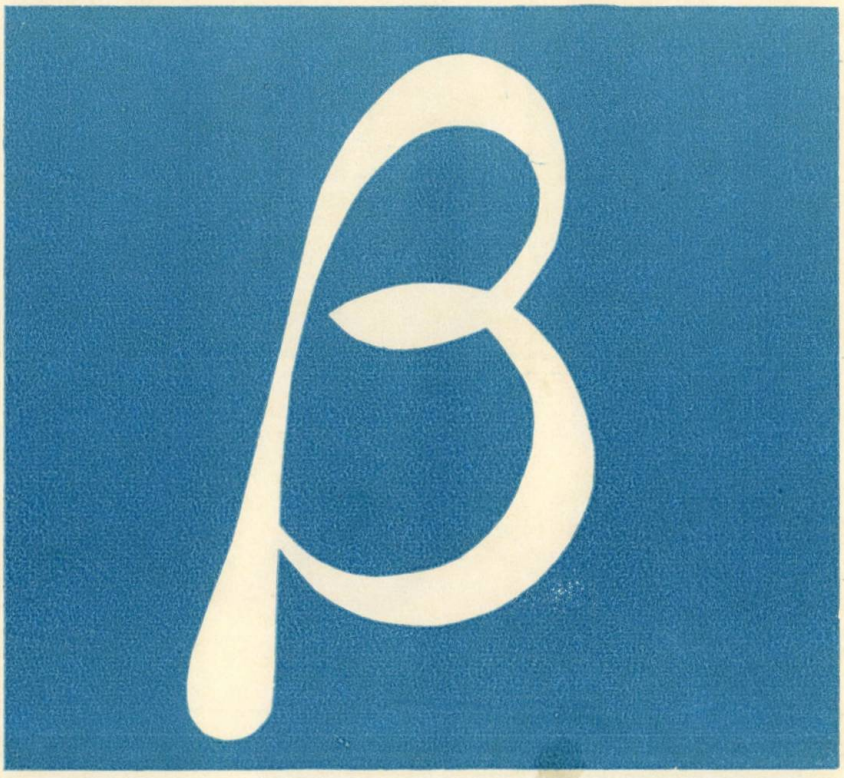
- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare hîrtie-uz general
- Condensatoare hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate

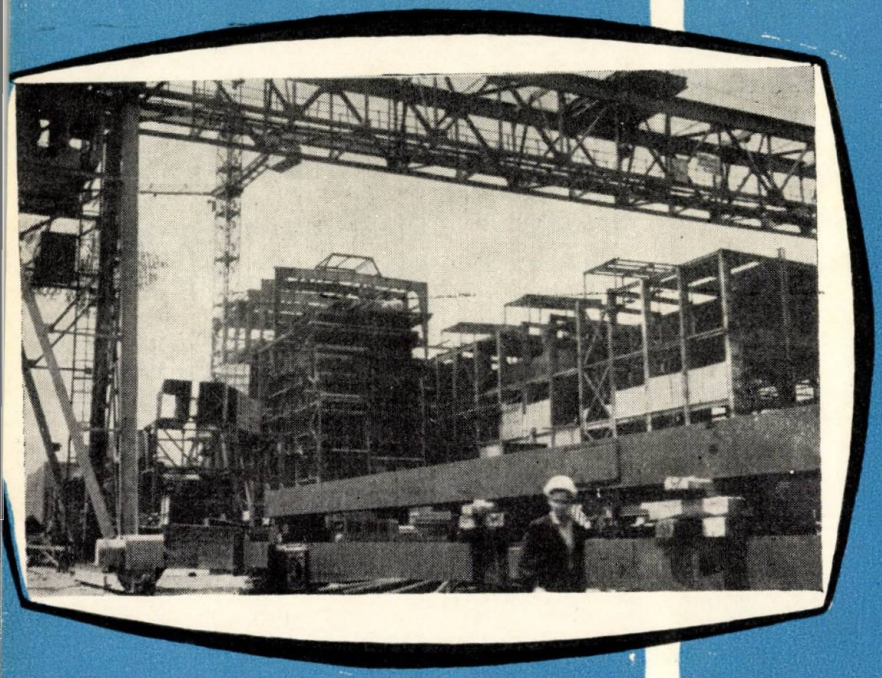


Pentru informații suplimentare consultați cataloagele noastre

DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

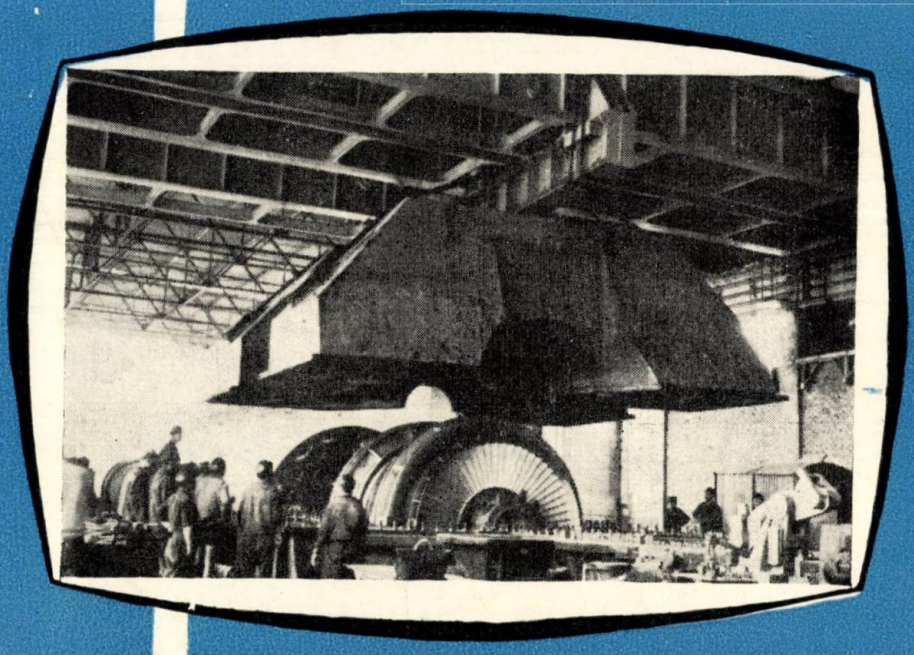
- Tranzistoare cu germaniu, de joasă frecvență
  - — de mică putere
  - — de medie putere
- Tranzistoare cu germaniu de înaltă frecvență
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere





Execută lucrări de montaj pentru:

- cazane de abur cu parametri ridicați, de la 500 t abur/h pînă la 640 t abur/h
- turbine cu abur, de la 6 MW la 315 MW
- turbine cu gaze
- turbine hidraulice, de la 5,5 MW la 170 MW
- compensatoare sincrone
- instalații termomecanice auxiliare ale centralelor termoelectrice și echipament hidromecanic
- instalații electrice de joasă, înaltă și foarte înaltă tensiune
- instalații de măsură, control și automatizare



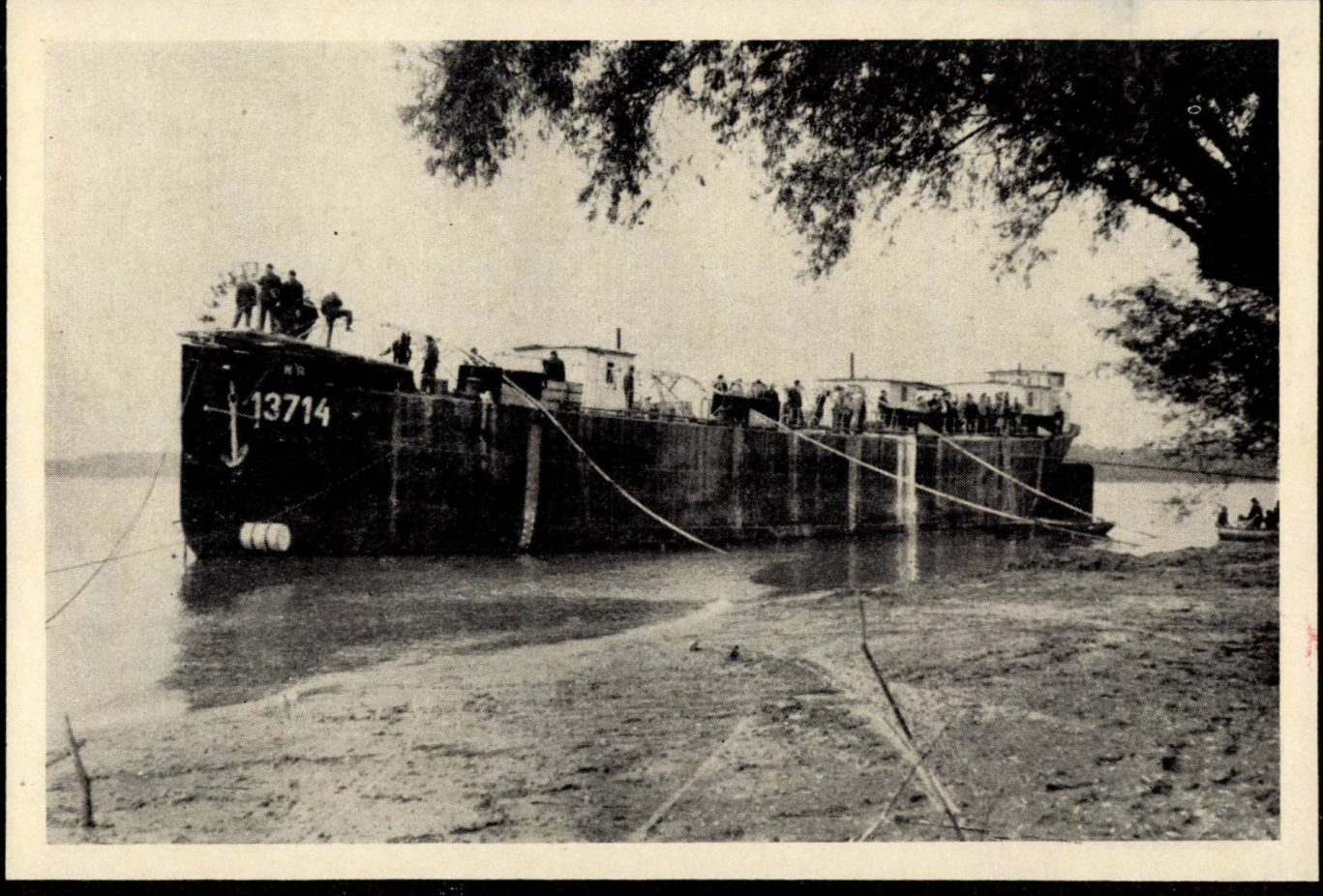
INTREPRINDEREA

Energomontaj

ÎNTREPRINDEREA
«ELECTROMONTAJ»
BUCUREȘTI

Execută:

- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție
- Rețele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
- Stații de transformare 35 — 400 kV
- Stații de distribuție și posturi de transformare
- Rețele de iluminat public
- Electrificări rurale

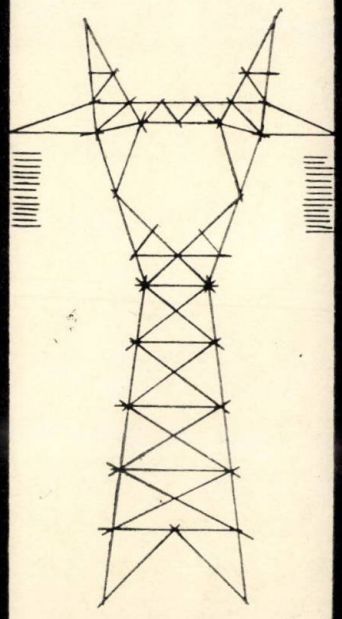


I.R.E. BRAȘOV

- asigură o bună deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și feroviar
- proiectează și execută rețele, posturi, stații de medie și înaltă tensiune, branșamente și instalații interioare în mediul urban și rural, la orice categorie de consumatori

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖNYVTÁR

i r e □ □ □ □ s u c e a v a



- produce, transportă și distribuie energie electrică la toate categoriile de consumatori.
- proiectează și construiește rețele de distribuție cu tensiunea pînă la 110 kV inclusiv.
- execută verificări pentru echipament electroenergetic, aparataj electric și instalații de protecție prin relee și automatizări.

ispe

elaborează.

- studii de amenajări complexe de sisteme energetice
- studii de centrale electrice de condensatie şi termoficare
- studii de retele complexe de termoficare urbană şi industrială

1970 MAI 30

acordă asistenţă tehnică

- pentru stabilirea echipamentului tehnologic la lucrări energetice, executie şi punere în functiune

proiectează:

— centrale termoelectrice

— reţele de termoficare

elaborates the studies for:

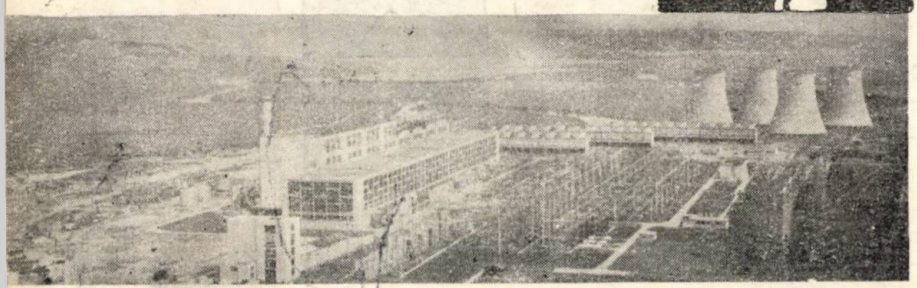
- complex power systems
- thermal power plants and combined heat and power plants
- district and industrial heating networks

designs

- thermal power plants
- district and industrial heating networks

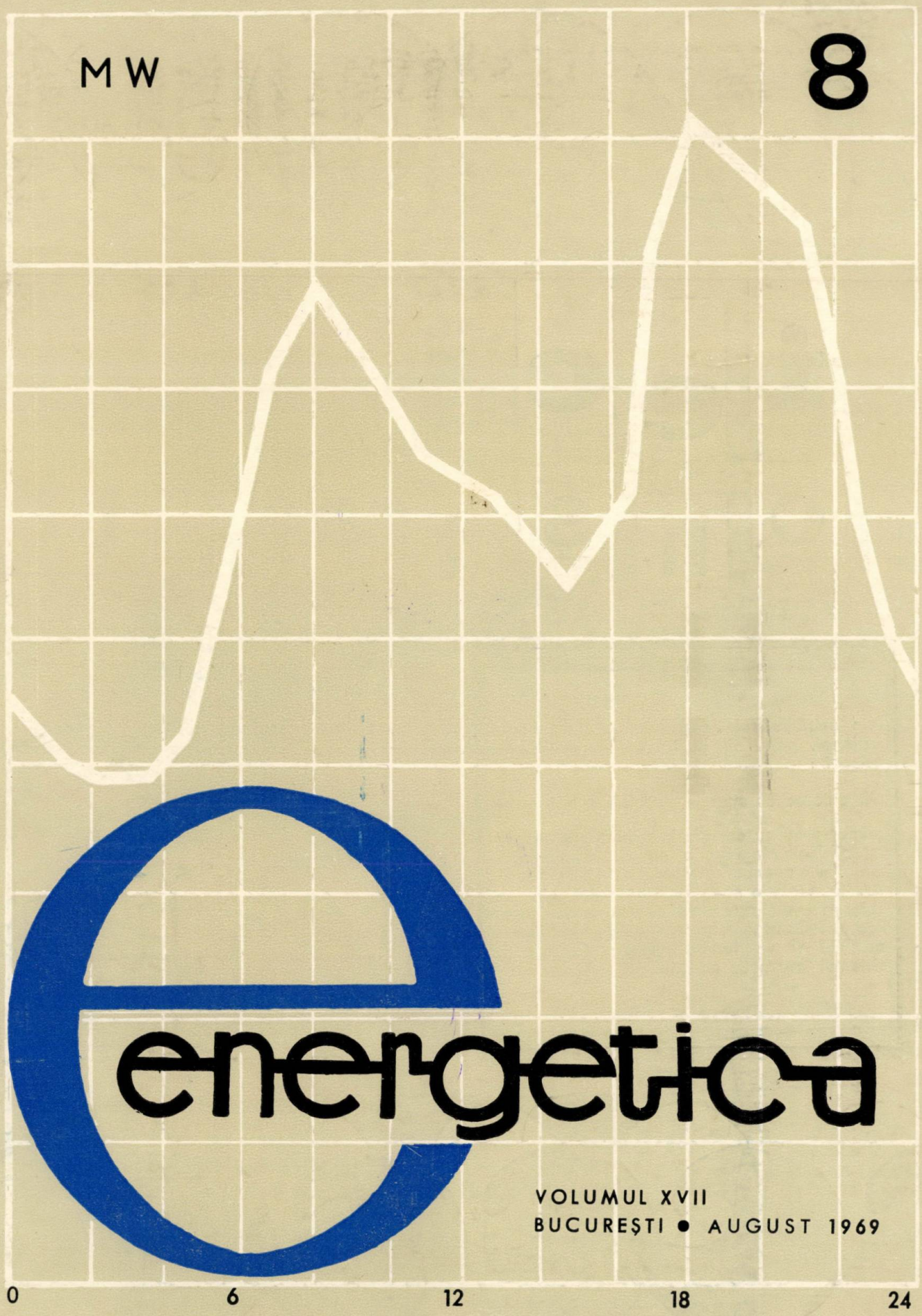
gives technical assistance

- for the erection and starting of power equipment



ispe
Bucureşti, Bd. Republicii nr. 29
Tel. 15 89 60

E 2039



energetica

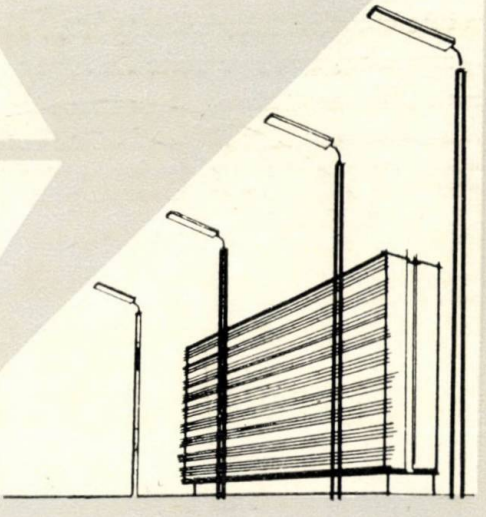
VOLUMUL XVII
BUCUREŞTI • AUGUST 1969

iec constanța

Prin unitățile sale interconectate la sistemul național, prin linii de 110 kV, întreprinderea asigură :

alimentarea cu energie electrică a Dobrogei;

alimentarea cu energie termică a stațiunii internationale Mamaia, a fabricii „Munca-Pepsi-Cola" și a altor consumatori industriali din zonă. Are în execuție noua centrală Palas, care va asigura energia termică pentru termoficarea orașului Constanța, pentru zona industrială a orașului și va furniza energia electrică în sistemul energetic național.



MEE

ISPH

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

Studii

— De teren geologice, geotehnice, geodezice, hidrologice şi topografice.

Proiecte

— Amenajări de complexe hidroenergetice.

— Uzine hidroelectrice (baraje, aducţiuni, centrale, etc.)

Cercetări

— de laborator cu caracter geotehnic pentru lianţi, betoane, chimismul apelor pe modele hidraulice şi modele structurale.

Bucureşti — str. Galaţi nr. 5—7

Tel. 13.92.00

IEC BUCUREȘTI

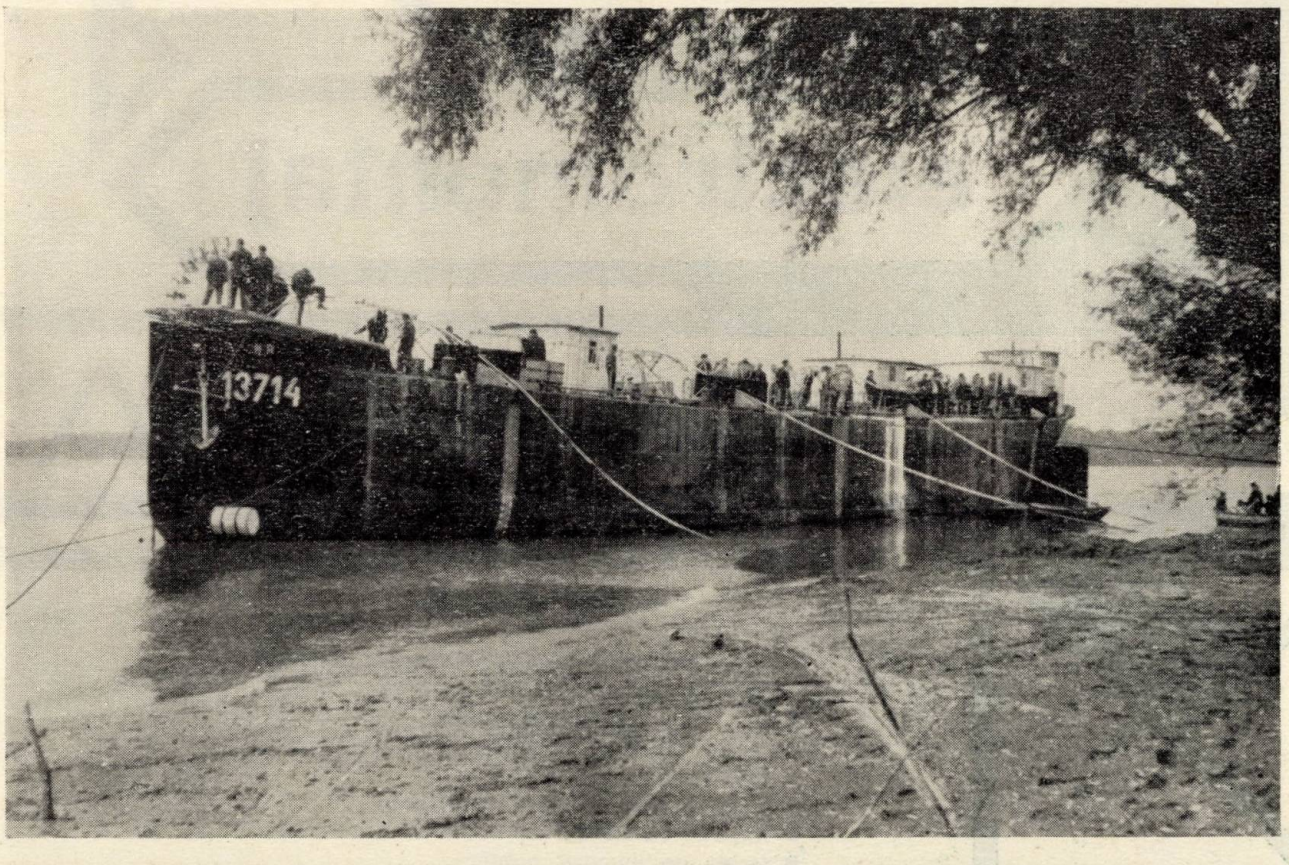
Întreprinderea Electrocentrale București

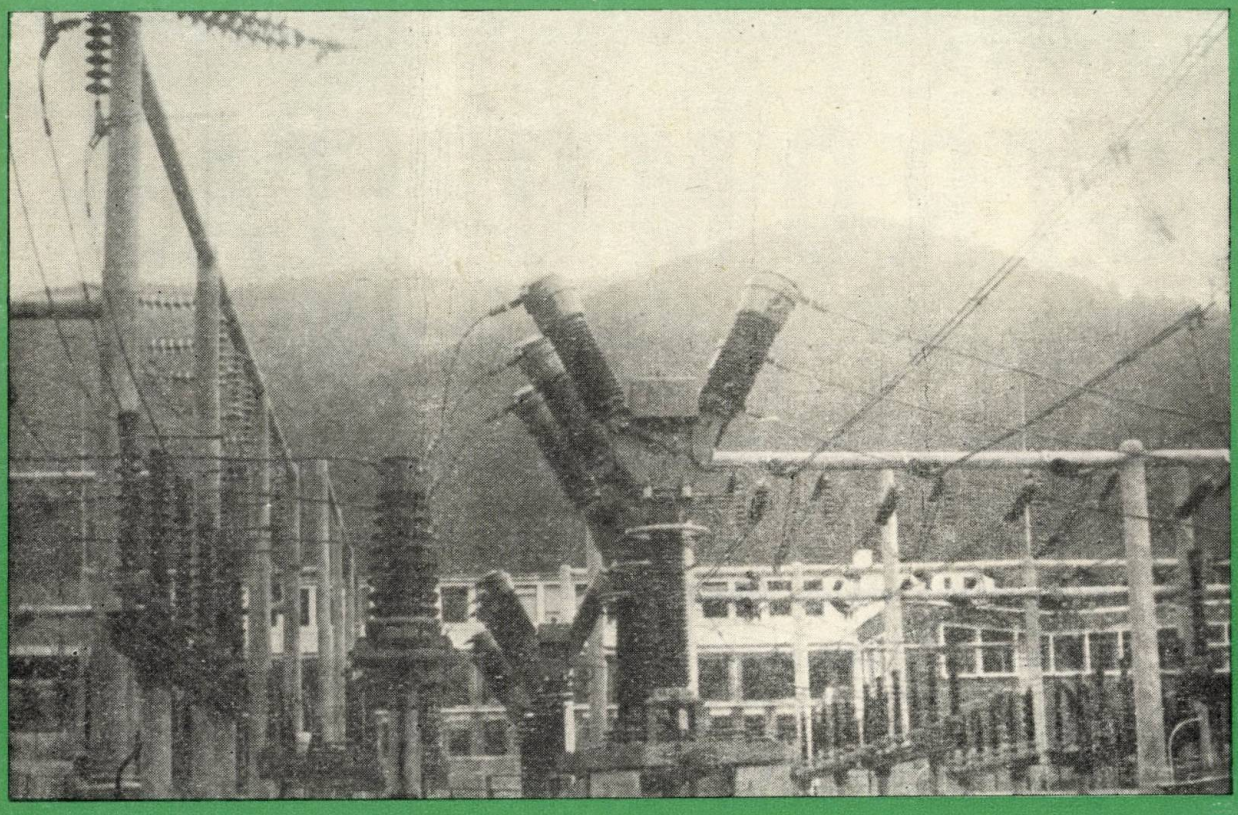
- **produce și furnizează energie electrică pentru sistemul energetic național și căldură, sub formă de abur și apă fierbinte, pentru consumatorii industriali și urbani din municipiul București**

ÎNTREPRINDEREA
«ELECTROMONTAJ»
BUCUREȘTI

Execută:

- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție
- Rețele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
- Stații de transformare 35 — 400 kV
- Stații de distribuție și posturi de transformare
- Rețele de iluminat public
- Electrificări rurale





intreprinderea electromontaj CÎMPINA

Execută :

- linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- linii electrice de distribuţie
- reţele electrice în cablu subteran pînă la 35 kV
- staţii de transformare 35—400 kV
- staţii de distribuţie şi posturi de transformare
- reţele de iluminat public
- electrificări rurale

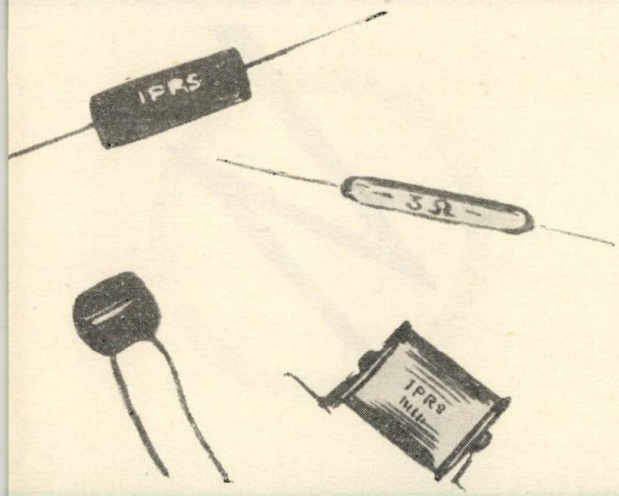
IPRS BĂNEASA

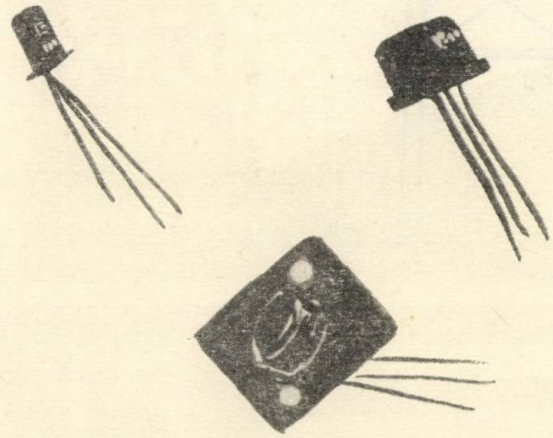
INTREPRINDEREA PIESE RADIO ȘI DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE—BĂNEASA

Str. Erou Iancu Nicolae nr. 32, sector 2, telefon 33.38.30, Telex 011203

PIESE RADIO

- Rezistoare fixe cu peliculă de carbon
- Rezistoare bobinate
- Termistoare
- Condensatoare cu poliester
- Condensatoare electrolitice normale
- Condensatoare electrolitice miniatură
- Condensatoare ceramice
- Condensatoare hîrtie-uz general-
- Condensatoare hîrtie metalizate
- Condensatoare telefonice
- Condensatoare auto
- Condensatoare pentru tuburi fluorescente
- Cablaje imprimate



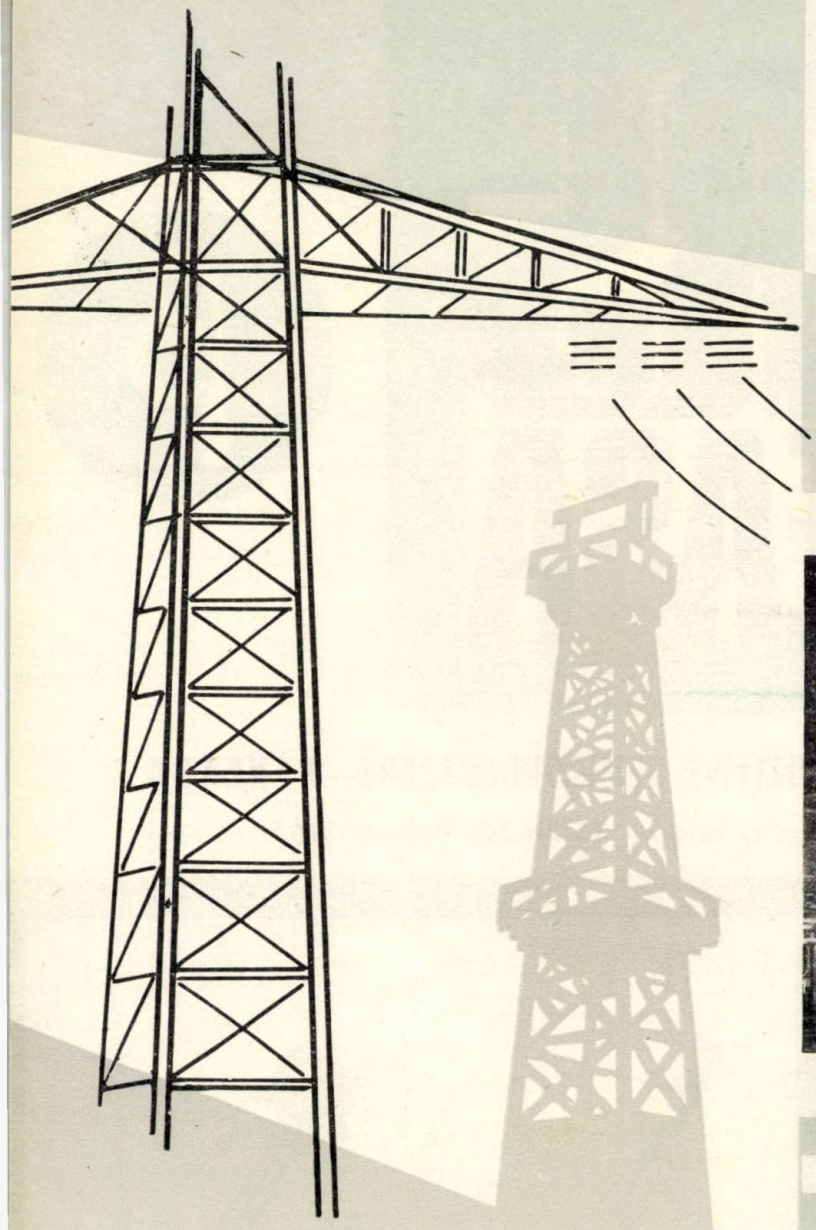


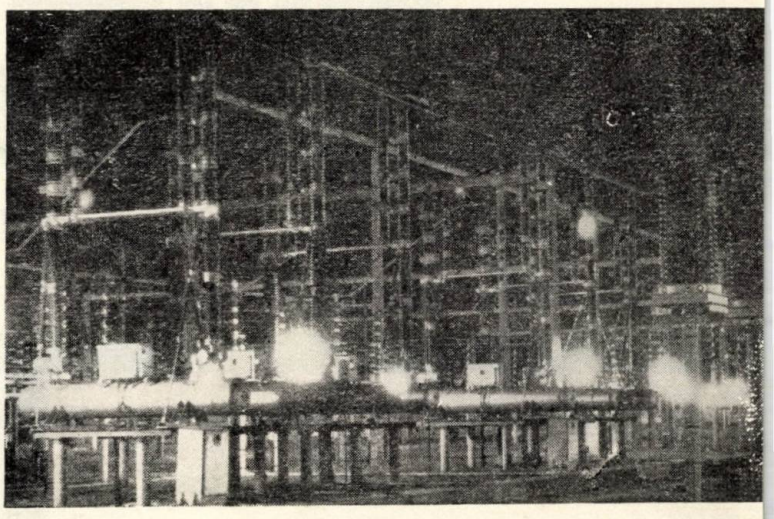
DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

- Tranzistoare cu germaniu, de joasă frecvență
  - — de mică putere
  - — de medie putere
- Tranzistoare cu germaniu de înaltă frecvență
  - — de mică putere
  - — drift de mică putere
- Diode cu germaniu contact punctiform
- Redresoare cu germaniu de medie putere
- Fotodiode cu germaniu
- Diode redresoare cu siliciu
  - — de mică putere
  - — de putere
- Diode Zener de mică putere

IRE Ploești

Cu sediul în Cîmpina, str.Culturii nr. 33
Tel. 2150—2151





IRE

PLOIEȘTI

- transportă și distribuie energie electrică prin rețele de înaltă, medie și joasă tensiune, asigurînd alimentarea cu energie electrică a consumatorilor din regiune;
- proiectează și execută:
  - posturi și stații de transformare,
  - linii electrice aeriene și subterane de transport și distribuție,
  - racorduri și branșamente de înaltă și joasă tensiune,
  - instalații electrice interioare și de iluminat exterior.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

ANUL 17 Nr. 8 AUGUST

Cuprinsul

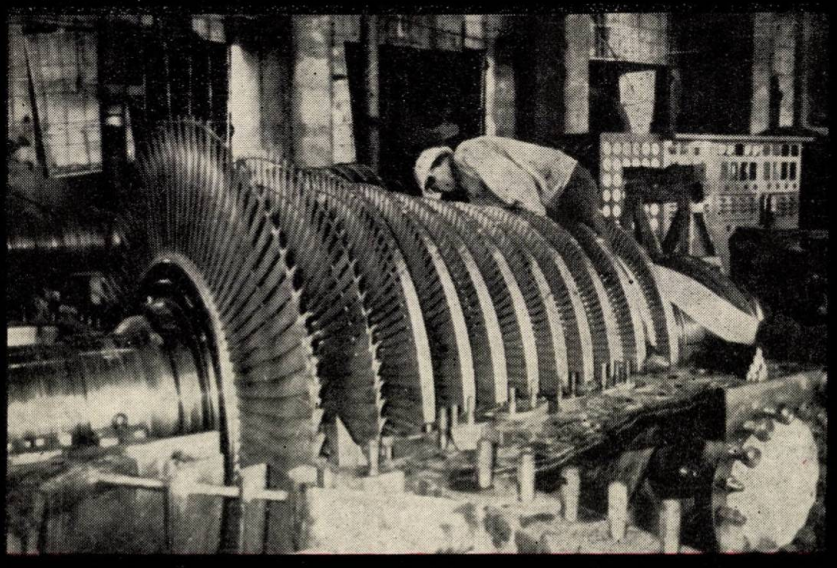
Groza, O.	**Electrificarea ţării în anii socialismului**	361—368
Burducea, C., Chioreanu, Gh. şi *Giurgea, D.*	**Centrala electrică de termoficare Craiova**	369—376
Măcriş, A. şi *Muşat, I.*	**Realizări în montajul centralelor electrice**	377—382
Militaru, P., Nistor, M., Petrescu, C., Vintilescu, M. şi *Voinea, D.*	**Stadiul actual al proiectării părţii electrice a centralelor şi staţiilor şi a liniilor de înaltă tensiune din R. S. România**	383—388
Radu-Cernea, A.	**Calculul termic de verificare a turnurilor de răcire cu tiraj forţat, cu ajutorul maşinii electronice de calcul**	389—392
Golici, D., Apolzan, S. şi *Antonescu, I.*	**Aplicarea ciclului gaze-abur la centrale termoelectrice existente de parametri medii**	392—399
Mirea, N., Iliescu, S. St. şi *Bogdan, M.*	**Elaborarea schemelor de montaj de automatizare cu calculatoare numerice**	399—404

COMITETUL DE REDACŢIE

Prof. ing. I. D. STĂNCESCU, redactor responsabil, ing. G. IORGULESCU, redactor responsabil adjunct, conf. ing. I. A. BADEA, ing. ST. BERENGHI, conf. ing. A. COGĂLNICEANU, conf. ing. E. CONSTANTINESCU, ing. P. DIMO, membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, laureat al Premiului de Stat, ing. H. FURTUNESCU, ing. P. IFTIME, ing. L. LUCA, ing. B. MARCU, ing. A. MĂCRIŞ, conf. ing. C. MIHĂILEANU, conf. ing. V. NITU, ing. A. SPÎNU

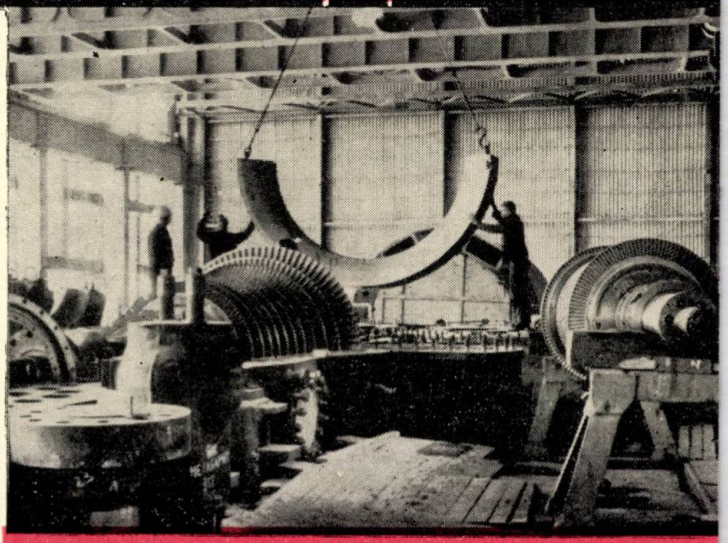
OFICIUL DE DOCUMENTARE ŞI PUBLICAŢII TEHNICE AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE

INTREPRINDEREA Energomontaj



Execută lucrări de montaj:

- Cazane de abur cu parametri ridicați:
  — 500 t abur/h, 215 at, 514°C
  — 640 t abur/h, 140 at, 570°C
- Turbine cu abur de la 6 MW la 315 MW
- Turbine cu gaze
- Turbine hidraulice de la 5,5 MW la 170 MW
- Compensatoare sincrone
- Instalații termomecanice auxiliare ale centralelor termoelectrice și echipament hidromecanic
- Instalații electrice de joasă, înaltă și foarte înaltă tensiune
- Instalații de măsură, control și automatizare



Electrificarea țării în anii socialismului

Ing. **Octavian Groza**,
ministrul energiei electrice

Partidul nostru, aplicînd o politică profund științifică, bazată pe aplicarea învățăturii marxist-leniniste la condițiile concrete existente în țara noastră, a arătat, încă de la începutul perioadei de construire a socialismului, necesitatea electrificării țării, pîrghie importantă în dezvoltarea industriei socialiste.

Astfel, în anul 1945, la Conferința Națională a Partidului Comunist Român s-a arătat că electrificarea țării constituie una dintre principalele sarcini în cadrul operei de refacere și de industrializare socialistă a țării.

Aplicînd cu consecvență această politică în cei 25 de ani a căror aniversare o sărbătorim acum, ramura energiei electrice s-a dezvoltat rapid, atingînd ritmuri dintre cele mai ridicate din lume.

Pentru a avea o imagine clară a importantelor realizări obținute și a sarcinilor care ne stau în față pentru viitor pentru dezvoltarea în continuare a ramurii energiei electrice, în avans față de celelalte ramuri ale economiei naționale, vom examina evoluția electrificării în țara noastră.

1. SITUAȚIA PÎNĂ LA 23 AUGUST 1944

Înainte de 23 August 1944, industria energiei electrice d-n țara noastră era o ramură slab dezvoltată. Astfel, în 1938, la 54 de ani de la punerea în funcțiune a primei centrale electrice (1884), producția noastră de energie electrică a fost de 1,13 miliarde kWh, ceea ce reprezenta 72,4 kWh/locuitor, față de 400–1350 kWh/locuitor cît era în țările industriale din vestul Europei.

Aceeași situație exista și în privința puterii instalate în grupuri electrogene, care totalizau o putere de circa 500 MW (32 W pe locuitor), fărîmițată în circa 600 de centrale foarte mici, din care peste 80% aveau grupuri electrogene sub 10 MW. Resursele hidroenergetice erau slab utilizate, totalizînd circa 48 MW, în grupuri hidroelectrice învechite și de putere mică, cu o producție de circa 150 milioane kWh.

Dezvoltarea rețelelor electrice era, de asemenea, foarte slabă, avînd în principal un caracter local. Exista o singură linie de 110 kV, Dobrești–Tîrgoviște – București, de 127 km, care asigura, prin stațiile de transformare de 110/60 kV, interconectarea rețelelor din zona București cu rețeaua de 60 kV din zona petroliferă.

Rețelele cele mai dezvoltate erau cele de distribuție de 6–30 kV, în lungime de circa 3200 km, fiind situate în special în regiunea petroliferă din Muntenia, în centrul Transilvaniei și în zonele București, Arad, Timișoara și Reșița. În Oltenia, estul Munteniei, Moldova și Dobrogea existau numai linii electrice de distribuție locală cu tensiuni de cel mult 6 kV.

În această situație, folosirea energiei electrice în sectoarele de activitate ale societății era extrem de redusă. În 1938, trei sferturi din populația țării trăia în localități neelectrificate. Electrificarea țării era ca și inexistentă. În 1945, din 13 000 de sate numai în 483 era introdusă lumina electrică.

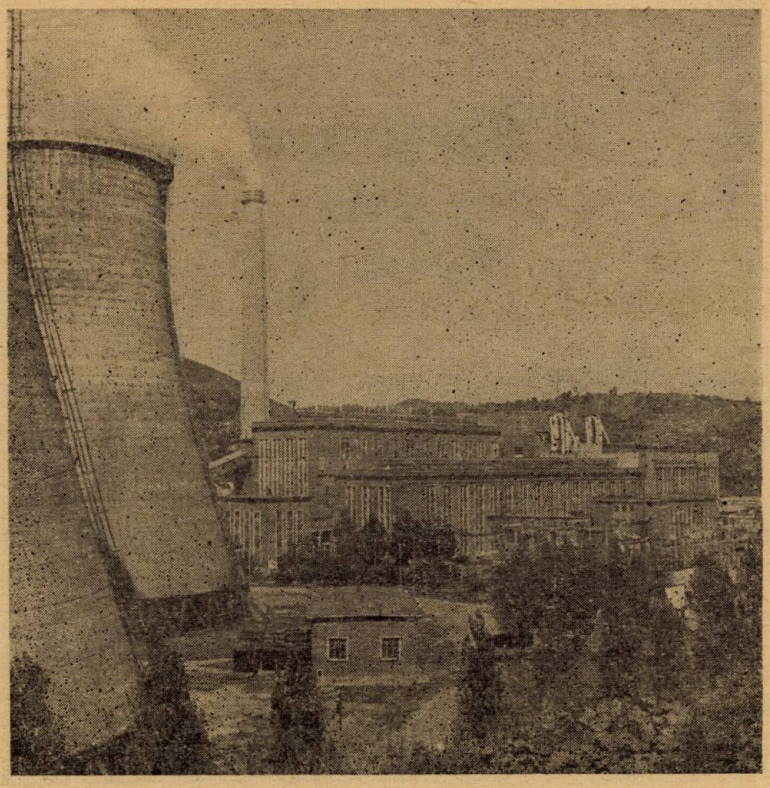


Fig. 1. Centrala termoelectrică Paroșeni.

2. PLANUL DECENAL DE ELECTRIFICARE ŞI REALIZĂRILE SALE

Planul de zece ani de electrificare a ţării pentru perioada 1951 – 1960, aprobat de Comitetul Central al Partidului Muncitoresc Român în plenara din octombrie 1950, a însemnat prima mare cotitură în procesul de electrificare a ţării. Prin acest prim plan s-a pus baza politicii generale energetice, obiectivele acestuia fiind valabile şi astăzi, şi anume :

– valorificarea raţională a resurselor energetice ale ţării, folosind în primul rînd combustibilii inferiori ;
– realizarea unor amenajări hidroenergetice de folosinţă complexă ;
– electrificarea treptată a transporturilor urbane şi interurbane ;
– concentrarea consumatorilor de energie termică în jurul marilor centrale, în scopul utilizării judicioase a combustibililor prin termoficare ;
– realizarea de centrale cu performanţe cît mai ridicate ;
– crearea unui sistem energetic unic interconectat ;
– intensificarea electrificării rurale şi dezvoltarea regiunilor rămase în urmă.

Pentru satisfacerea acestor sarcini de prim ordin, în anii 1952 – 1955 au intrat în funcţiune centralele : Ovidiu (3 × 12 MW, la 32 ata şi 410°C) şi Doiceşti (6 × 20 MW, la 64 ata şi 480°C). Ulterior, în perioada 1955 – 1959, au intrat în funcţiune centralele : Sîngeorgiu (4 × 25 MW + 1 × 50 MW) şi Paroşeni (3 × 50 MW), cu parametrii aburului mai ridicaţi (100 ata şi 510°C).

În cadrul planului de zece ani au avut loc pregătirea şi elaborarea bazelor tehnice şi economice pentru introducerea şi dezvoltarea organizată a termoficării în acele centre în care existau consumatori de căldură industriali şi un program de construcţii de locuinţe în curs de realizare. Au fost realizate centralele de termoficare urbană şi industrială Comăneşti şi Borzeşti, echipate cu grupuri de condensaţie şi prize reglabile pentru prelevarea de abur, precum şi mai multe centrale de termoficare industrială, echipate cu grupuri de 3 – 6 MW de contrapresiune sau de condensaţie şi prize reglabile (la parametrii medii ai aburului viu de 35 ata şi 450°C) fabricate în ţară.

Puterea instalată în centralele de termoficare a crescut de la 127 MW în 1950 la 472 MW în 1960.

Instalarea de grupuri de condensaţie de putere unitară mai mare şi cu parametrii ridicaţi ai aburului viu, precum şi dezvoltarea centralelor electrice de termoficare a avut ca efect scăderea consumului specific de combustibil pentru producerea energiei electrice de la 721 g c.c./kWh în 1950 la 502 g c.c./kWh în 1960.

O atenţie deosebită în acest decenal s-a acordat folosirii resurselor hidroenergetice ale ţării. Astfel, în această perioadă se întreprinde o acţiune de inventariere sistematică a resurselor hidroenergetice din ţară, în vederea întocmirii planurilor de electrificare de perspectivă.

Sînt date în exploatare primele amenajări de acest fel, şi anume : centralele hidroelectrice Crăinicel, de 8,7 MW, Moroeni şi Sadu V, de cîte circa 15 MW fiecare. În 1960 s-a pus în funcţiune marea centrală hidroelectrică „V.I. Lenin", de pe Bistriţa, care prin puterea sa, de 210 MW, reprezintă cea mai importantă lucrare a primului plan de electrificare şi una dintre marile amenajări din Europa.

Corelat cu dezvoltarea producţiei de energie electrică şi a puterii instalate în centrale, s-au dezvoltat şi reţelele pentru transportul şi distribuţia energiei electrice.

Sarcina închegării sistemului energetic naţional a fost îndeplinită din primii ani ai planului decenal, datorită unui ritm intens de dezvoltare a reţelelor electrice în intervalul 1950 – 1954. Astfel, au luat fiinţă sistemele energetice regionale : Muntenia, Ardealul central, Ardealul de nord-vest, Ardealul de sud-vest, Oltenia, Moldova şi Dobrogea, care s-au interconectat succesiv.

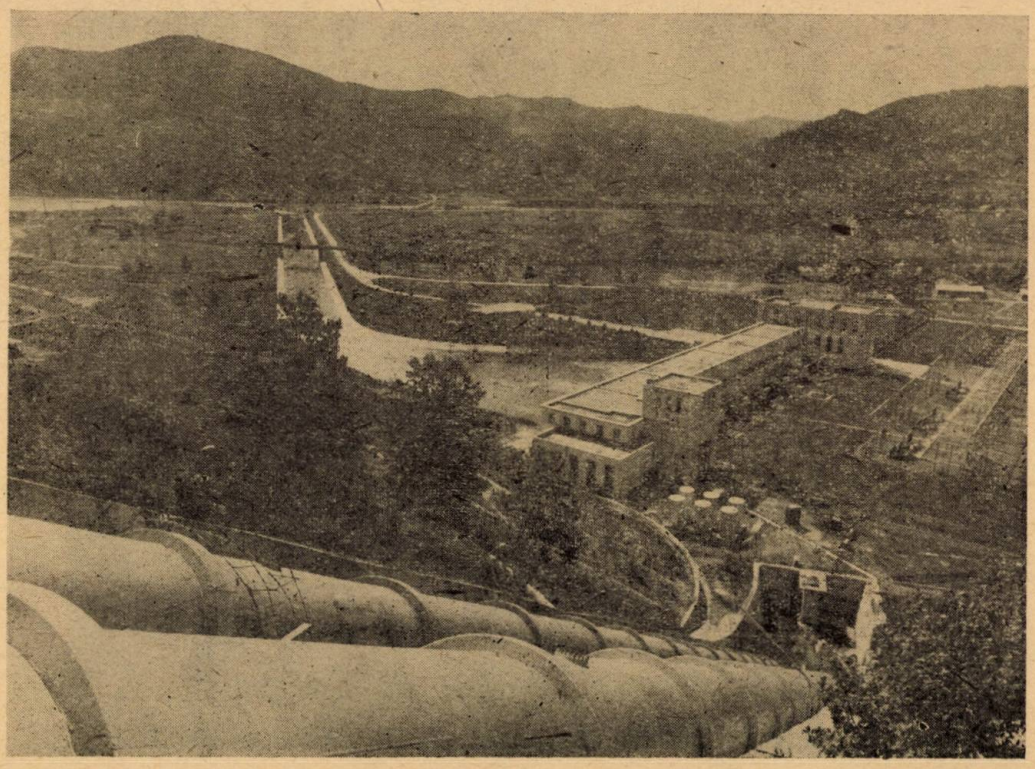


Fig. 2. Centrala hidroelectrică „V. I. Lenin" Bicaz.

Prin realizarea în 1960 a legăturii Chișcani – Gura Ialomiței – Medgidia, s-a racordat și sistemul regional Dobrogea la sistemul electroenergetic național, formîndu-se astfel sistemul energetic național unic.

În cursul planului decenal, lungimea liniilor electrice de 110 kV a crescut de la 127 km în 1950 la 2815 km în 1960, iar a liniilor de 35 – 60 kV, de la 484 km la 3095 km. Rețelele de distribuție de 1 – 30 kV au crescut de la 3176 km în 1950 la 17003 km în 1960.

3. REALIZĂRI DEOSEBITE ÎN PERIOADA 1960 – 1970

Succesele importante obținute în cadrul primului plan de electrificare au permis ca, în perioada următoare, 1961 – 1970, să se evolueze ascendent, corelat cu necesitățile de energie electrică mereu crescînde, impuse de dezvoltarea necontenită a întregii economii naționale.

Astfel, formarea sistemului energetic național a permis realizarea de centrale electrice echipate cu grupuri de putere unitară din ce în ce mai mare. În 1963 s-a pus în funcțiune, printre altele, primul grup de 100 MW de la CTE Luduș, în 1964 un grup de 150 MW la CTE Paroșeni, în 1966 primul grup de 200 MW de la Luduș și în 1967 primul grup de 315 MW de la CET Craiova. În această perioadă s-au realizat centrale de mare putere, cum sînt: Craiova – 980 MW, Luduș – 800 MW, Borzești – 495 MW.

De asemenea sînt în curs de realizare: centrala termoelectrică Deva, la un profil de 800 MW în 1971, extinderea CET Brazi (2 × 200 MW), la profilul de 600 MW, extinderea CET Borzești (2 × 200 MW), la profilul de 625 MW, și CTE Rovinari etapa I, la un profil de 400 MW.

Grupurile de condensație puse în funcțiune în această perioadă sînt realizate la un înalt nivel tehnic, cu parametrii aburului viu ridicați (140 – 196 ata, 540 – 570°C), cu supraîncălzire intermediară a aburului. La toate grupurile de condensație s-a adoptat exclusiv schema-bloc, iar în ultimul timp s-a făcut un pas mai departe prin introducerea calculatoarelor electronice la CTE Luduș și la cele două grupuri de 315 MW de la CET Craiova. Aceste calculatoare stabilesc programele de lucru, calculează indicii tehnico-economici și abaterile de consum ete.

În această perioadă s-au realizat o serie de centrale de termoficare importante, cu grupuri de puteri unitare de 25, 50 și 100 MW, la parametrii 100 ata, 510°C și 140 ata, 570°C, cum sînt CET București-Sud, CET Oradea, CET Iași, și sînt în curs de realizare CET Galați, CET Palas și CET Govora.

Rețelele de termoficare vor atinge, la nivelul etapei 1970, o lungime totală de circa 450 km, existînd 17 centre cu sisteme de termoficare cu caracter public. O realizare importantă în domeniul rețelelor de termoficare din această perioadă, care se situează printre cele mai remarcabile realizări pe plan mondial, este sistemul de termoficare din zona Ploiești-Sud—Brazi, alimentat din CET Brazi. Acest sistem cuprinde o rețea de abur totalizînd 9,5 km, un racord de 6 km pentru un mare complex de sere legumicole și o magistrală de alimentare cu căldură a orașului avînd o lungime de circa 12 km. Prin dezvoltarea termoficării, cantitatea de căldură livrată din centrale de termoficare crește de la 8,4 milioane Geal în 1960 la circa 35 milioane Geal în 1970.

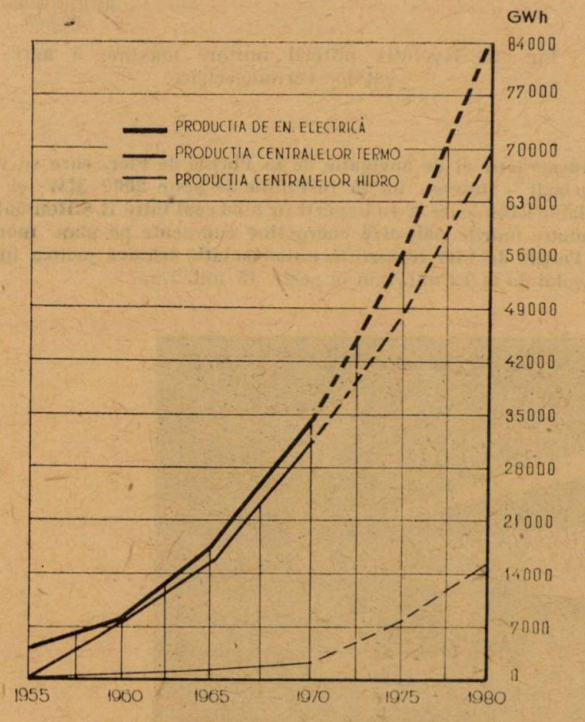


Fig. 3. Evoluția producției de energie electrică în R. S. România în perioada 1955–1980.

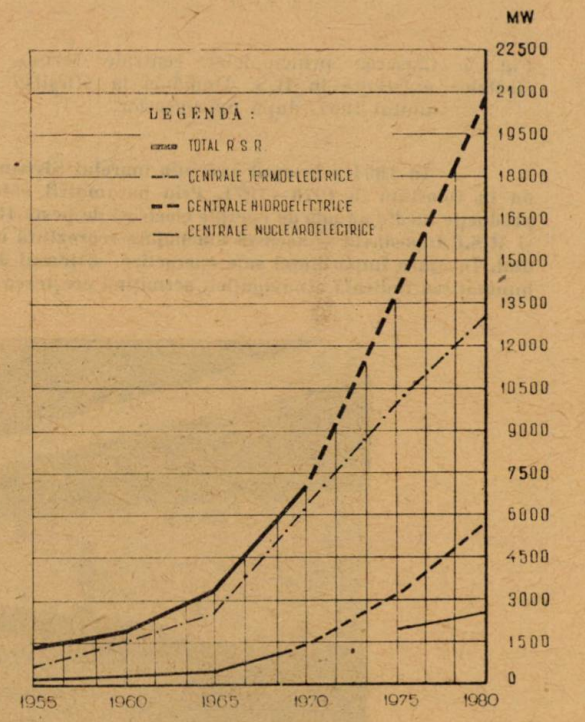


Fig. 4. Evoluția puterii instalate în R. S. România în perioada 1955–1980.

De asemenea, și programul de centrale hidroelectrice a cunoscut un ritm important de realizare. În această perioadă s-a construit și pus în funcțiune caseada de 12 centrale hidroelectrice de pe rîul Bistrița, care totalizează o putere instalată de 250 MW și o producție de energie electrică de 850 milioane kWh.

În 1966 s-a pus în funcțiune centrala hidroelectrică „Gh. Gheorghiu-Dej" pe rîul Argeș, cu centrala amplasată în subteran, avînd o putere instalată de 220 MW și o producție de energie de 400 milioane kWh. În cadrul acestei amenajări s-a realizat un baraj de beton în arc (barajul Vidraru), înalt de 166 m, care este printre primele zece baraje de acest tip din Europa. Acumularea realizată prin acest baraj permite, pe lîngă producerea

de energie electrică, irigarea unei suprafeţe de circa 100 000 ha teren arabil, alimentarea cu apă a oraşelor Bucureşti şi Piteşti şi scoaterea de sub inundaţii a circa 10 000 ha teren agricol, prin reducerea viiturilor.

Tot în această perioadă a început realizarea primei trepte de patru centrale hidroelectrice de pe Argeş, în aval de centrala „Gh. Gheorghiu-Dej", cu o putere de 60 MW.

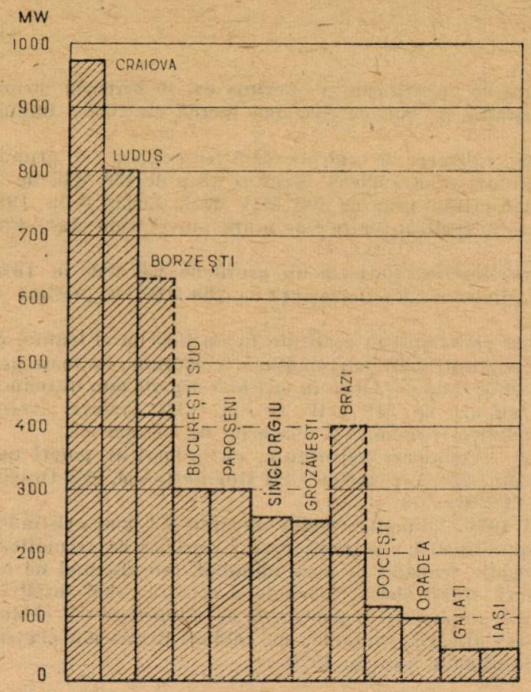


Fig. 5. Clasarea principalelor centrale termoelectrice existente în R.S. România la sfîrşitul anului 1967, după mărimea lor.

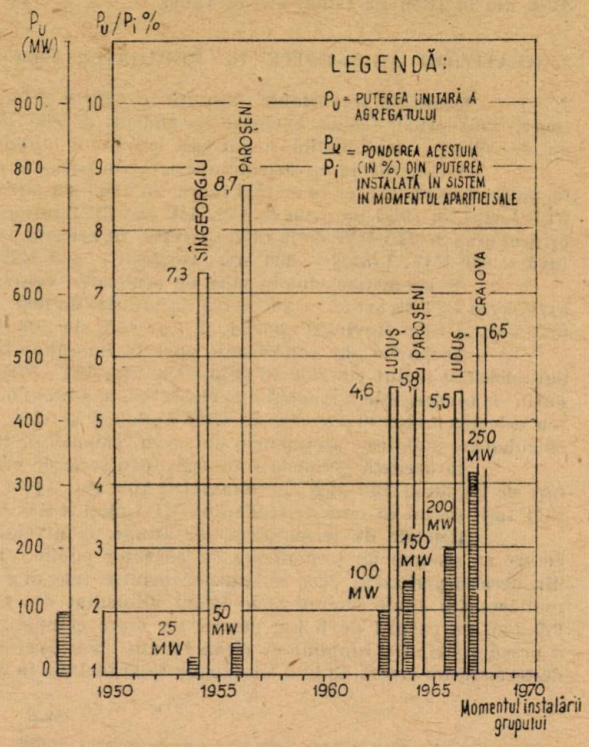


Fig. 6. Evoluţia puterii unitare maxime a agregatelor termoelectrice.

În 1964 a început execuţia marelui Sistem hidroenergetic şi de navigaţie de la Porţile de Fier, care se va da în folosinţă în 1970—1971. Prin parametrii săi principali — puterea totală instalată de peste 2000 MW şi o producţie medie anuală de energie electrică de peste 10 miliarde kWh, care se va împărţi în mod egal între R.S.România şi R.S.F.Iugoslavia — această amenajare reprezintă unul dintre marile obiective energetice cunoscute pe plan mondial. În afara importanţei sale energetice, sistemul de la Porţile de Fier reprezintă unica soluţie tehnică pentru îmbunătăţirea radicală a navigaţiei, permiţînd creşterea traficului de la 12 mil. t/an la peste 45 mil. t/an.

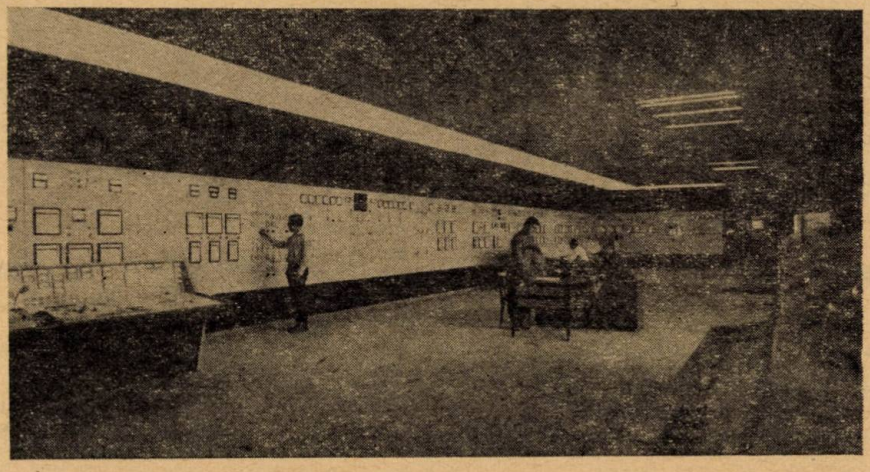


Fig. 7. CET Craiova — camera de comandă a blocurilor de 315 MW.

S-au început lucrările la una dintre cele mai mari centrale de derivaţie din Europa, centrala hidroelectrică de pe Lotru, avînd o putere instalată de 500 MW şi o producţie medie anuală de energie electrică de circa 900 mil. kWh. Lacul de acumulare al acestei amenajări va îmbunătăţi şi regimul de funcţionare a cascadelor de centrale de pe Olt.

Rețelele electrice s-au dezvoltat corespunzător, la scara necesităților de energie electrică mereu în creștere și corelat cu programul de dezvoltare a centralelor electrice prezentat pe scurt mai sus.

Imediat după anul 1960 s-a făcut deja simțită necesitatea introducerii unei tensiuni superioare celei de 110 kV. Astfel, în 1961 a apărut prima linie de 220 kV Bicaz — Săngeorgiu — Luduș, care ulterior a fost prelungită pînă la Hunedoara, iar în 1963—1964 au apărut primele linii de 400 kV, cu funcționare la 220 kV.

Treptat rețelele de transport de 220 kV și 400 kV s-au dezvoltat foarte mult, ajungîndu-se, la nivelul anului 1969, la realizarea unei superrețele buclate de 220 kV și 400 kV, care leagă între ele principalele centre producătoare și consumatoare de pe teritoriul țării.

Printre primele linii de 400 kV apărute se pot exemplifica: artera nord-sud (Luduș — Sibiu — Argeș — Slatina) și artera Slatina — București.

În afara liniilor interne de 220 kV și 400 kV, în urma convenției încheiate între R.S.România și R.S.Cehoslovacă, în 1963 s-a realizat intercone xiunea cu sistemul energetic cehoslovac, la tensiunea de 400 kV.

În 1967 s-a realizat intercone xiunea și cu sistemul energetic bulgar, prin linia de 220 kV CET Isalnița — — Bechet, în scopul tranzitării prin rețelele sistemului nostru energetic a unor cantități de energie electrică ce sînt livrate de U.R.S.S. spre R. P. Bulgaria.

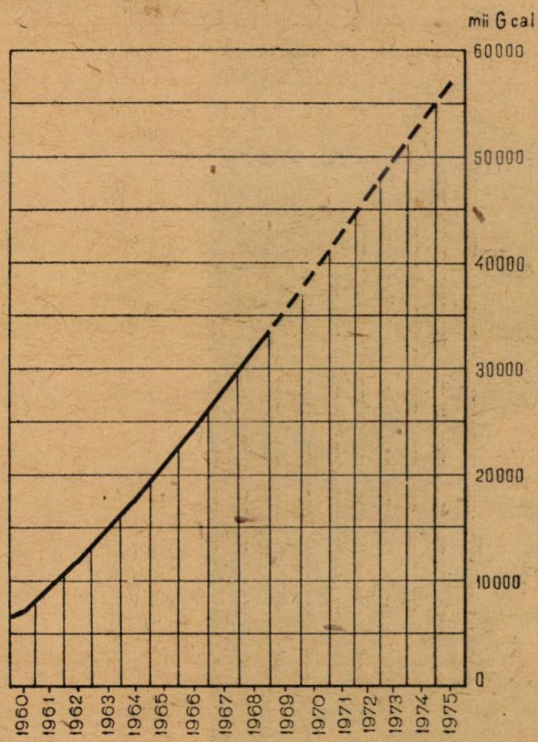


Fig. 8. Evoluția căldurii livrate din centrale de termoficare în R. S. România în anii 1960—1975.

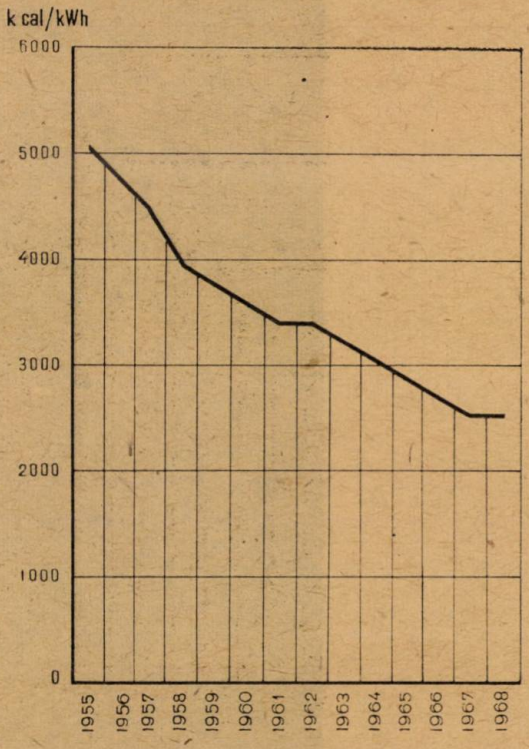


Fig. 9. Evoluția consumului specific de căldură pe ansamblul centralelor termoelectrice din R.S. România.

În perioada 1960—1970 s-au dezvoltat în continuare rețelele de 110 kV și de tensiuni mai mici, la finele anului 1970 prevăzîndu-se următoarele lungimi de linii:

- la 110 kV — circa 7000 km;
- la 220 kV — circa 2100 km;
- la 400 kV — circa 1130 km.

Realizări importante s-au înregistrat și în domeniul rețelelor de distribuție din mediul urban și rural, care s-au modernizat și racordat la sistemul energetic. Unele dintre acestea au primit injecții directe de putere chiar în centrul consumatorilor urbani, prin pătrunderi adînci la 110 kV (București, Cluj etc.).

Pentru electrificarea rurală s-au folosit, ca element de bază, rețelele de 20 kV. Aceste rețele, gîndite și realizate inițial pentru tensiunea de 15 kV, sînt trecute treptat, cu modificări minime, la tensiunea de 20 kV, realizîndu-se astfel o utilizare intensivă a unor instalații existente. S-au electrificat pînă la finele anului trecut peste 9000 sate, Ministerul Energiei Electrice contribuind astfel direct la creșterea nivelului de trai al populației de la sate.

4. EVOLUȚIA PRODUCȚIEI DE ENERGIE ELECTRICĂ

Ritmul mediu anual de creștere a producției de energie electrică a fost de 13,7 % în perioada 1950—1960 și de 18,3% în perioada 1961—1967.

Aceste ritmuri situează țara noastră printre țările cu ritmurile cele mai înalte din lume. Pentru comparație se menționează că ritmul anual mediu mondial a fost de 8,5% în intervalul 1955—1960 și de 7,2% în intervalul 1961—1965.

O altă caracteristică a producției de energie electrică din țara noastră o constituie permanenta dezvoltare în avans a energiei electrice față de producția globală industrială, pentru a permite dezvoltarea nestînjenită a tuturor celorlalte ramuri ale economiei naționale și a favoriza electrificarea permanentă a unor noi procese tehnologice.

Una dintre trăsăturile importante ale evoluției producției de energie electrică din acești ani o constituie accentul deosebit pus pe creșterea consumului casnic și edilitar, indicator ce reflectă direct creșterea nivelului de trai al populației. Astfel, față de anul 1955, cînd consumul casnic-edilitar era de 540 mil. kWh, în 1960 el a ajuns la 1210

și în 1968 la 3400 mil. kWh. Această evoluție a fost posibilă, printre altele, printr-o serie de înlesniri acordate populației (reduceri de tarife, execuții de branșamente în rate, extinderea electrificării rurale și urbane), ca și prin punerea la dispoziția populației a aparatelor electrocasnice în număr sporit și sortimente variate.

În concordanță cu dezvoltarea instalațiilor energetice, s-au creat și dezvoltat și unitățile de proiectare și de execuție proprii ale M.E.E.

Institutele de proiectări energetice și hidroenergetice (ISPE și ISPH) au reușit să rezolve cu competență și la un nivel tehnic corespunzător multiplele probleme legate de proiectarea instalațiilor sistemului energetic. Ideile directoare care au stat la baza activității acestor institute s-au axat pe asigurarea introducerii continue a progresului tehnic în concepția centralelor electrice și a rețelelor de transport și distribuție a energiei electrice.

Fig. 10. Centrala hidroelectrică „Gh. Gheorghiu-Dej"-Argeș — barajul Vidraru.

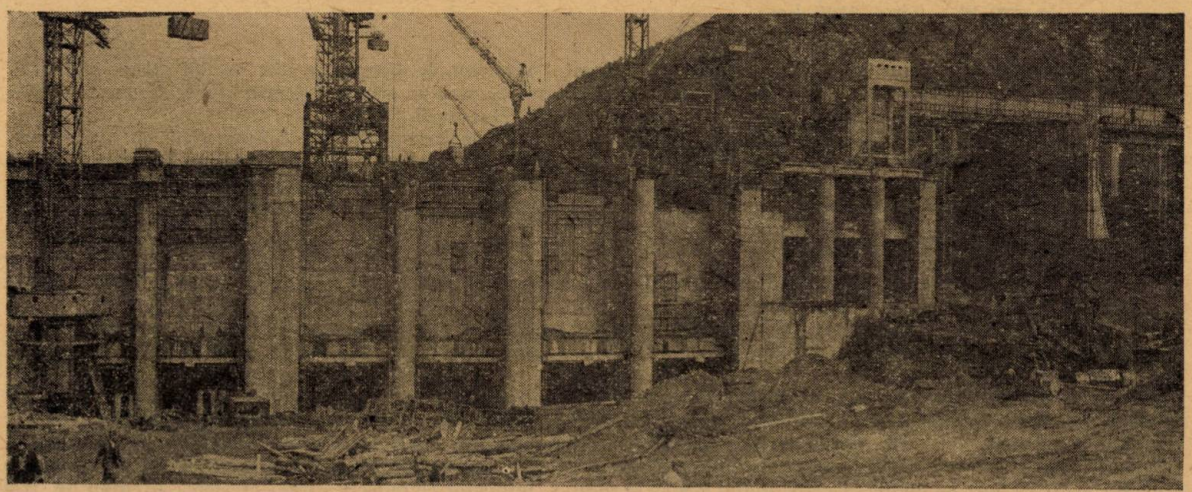


Fig. 11. Sistemul hidroenergetic și de navigație Porțile de Fier — centrala și ecluza în timpul execuției.

Realizarea obiectivelor energetice în ritmurile ridicate, prezentate mai sus, a pus în fața unităților de construcții și montaje energetice ale M.E.E. probleme deosebit de grele, atît din punctul de vedere al volumului lucrărilor cît și al condițiilor speciale și al unei tehnicități tot mai ridicate. Întreprinderile de construcții și montaje energetice au devenit unități puternice, capabile să execute centrale și rețele electrice echipate cu grupuri de mare putere și în termene de execuție comparabile pe plan mondial. Întreprinderea de construcții hidroenergetice, prin importantele lucrări executate, s-a impus ca o unitate cu o capacitate tehnică ridicată, capabilă să execute lucrări de mare anvergură, de natura celor de la Porțile de Fier sau de la Lotru.

În acești 25 de ani a avut loc și un proces de formare a cadrelor de specialitate, într-un domeniu în care nu exista multă experiență în țara noastră. Personalul de specialitate, la început foarte redus, a evoluat atît ca număr

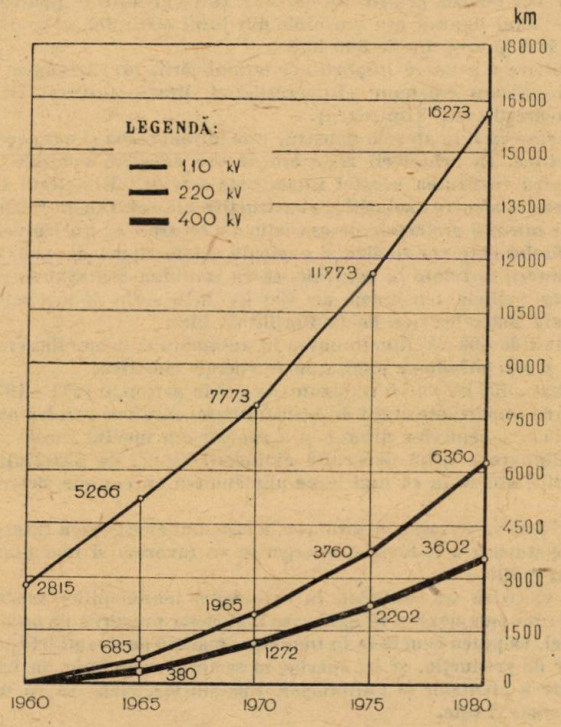


Fig. 12. Evoluția liniilor electrice în R.S. România în perioada 1960—1980.

cît și ca pregătire, astfel că în prezent M.E.E. dispune de un mare număr de muncitori, tehnicieni și ingineri cu o bună pregătire tehnică, capabili să proiecteze, să execute și să exploateze instalațiile energetice la nivelul tehnicii și cerințelor actuale.

5. ELECTRIFICAREA ȚĂRII ÎN PERSPECTIVĂ

Dezvoltarea într-un ritm mereu ascendent a economiei naționale, așa cum rezultă din Directivele Congresului al X-lea al P.C.R., impune o dezvoltare corespunzătoare și mai intensă a industriei energiei electrice, pentru a face față exigențelor tot mai mari ale consumatorilor publici și particulari de energie electrică și termică.

Dezvoltarea ramurii energiei electrice și termice în perspectivă (1971—1975 și 1980) are la bază următoarea concepție generală:

1. Asigurarea unei dezvoltări continue a electroenergeticii, corelată cu necesitățile și posibilitățile de construcție economică.

2. Încadrarea subramurilor electroenergeticii în proporțiile dictate de structura resurselor primare și balanța folosirii acestora.

În acest scop se poate prevedea:

- intensificarea pînă la limita posibilităților a amenajărilor de centrale hidroelectrice pe cursurile de apă;
- sporirea cotei cărbunilor inferiori în paralel cu limitarea cotei de folosire a gazelor naturale;
- pregătirea și dezvoltarea unui program de centrale nucleare;
- degrevarea importantă a balanței de energie primară pe calea creșterii termoficării.

3. Echiparea liniilor, stațiilor și centralelor cu echipament de calitate superioară, care să permită o exploatare sigură, suplă și cu eficiență economică maximă.

4. Intensificarea cercetării științifice în domeniul energeticii.

Directivele Congresului al X-lea al P.C.R. prevăd printre altele:

— Creșterea producției de energie electrică de la 34—35 miliarde kWh în 1971 la 55—57 miliarde kWh în 1975 și circa 80—85 miliarde kWh în 1980. Din acestea, cu resurse hidroenergetice se prevede a se realiza circa 10 miliarde kWh în 1975 și circa 18 miliarde kWh în 1980.

— Creșterea producției de căldură prin termoficare la 55—57 milioane Gcal în 1975, față de 35 mil. Gcal în 1970.

În perioada 1971—1975 se prevede o dezvoltare corespunzătoare a centralelor electrice, prin instalarea unei puteri noi de 5400—5800 MW.

În această perioadă se va încheia amenajarea SHEN Porțile de Fier, vor începe amenajările Oltului (opt centrale hidroelectrice pe sectorul Călimănești-Drăgășani, de 180 MW) și Siretului (o centrală hidroelectrică de 30 MW). Ca centrale de vîrf de mare putere, dispunînd de lacuri de acumulare importante, se vor pune în funcțiune CHE Lotru, cu o putere de 500 MW, și se vor realiza CHE Someș-Mărișelu și Tarnița de 265 MW și CHE Sebeș-Gîlceag de 150 MW.

În cadrul colaborării economice cu țările vecine, se studiază posibilitățile de amenajare în continuare a Dunării în aval de Porțile de Fier. Astfel, cu R.S.F. Iugoslavia se studiază realizarea amenajării hidroenergetice de la Gruia — Radujevač, iar cu R.P. Bulgaria amenajarea hidroenergetică Islaz — Somovit.

În această perioadă se vor realiza, printre altele, CTE Rovinari prin echiparea cu două grupuri de 200 MW și cinci grupuri de 300 MW, utilizînd lignitul din carierele din jurul centralei, și o centrală funcționînd pe păcură, echipată cu trei grupuri de 200 MW și un grup de 300 MW.

Se va acorda în continuare o pondere importantă termoficării, prevăzîndu-se a se instala o putere de circa 1500 MW în centralele de termoficare existente (București-Sud, Brazi, Govora, Oradea, Craiova, Palas, Galați, Pitești) și în centrale noi (București-vest, Timișoara).

O problemă deosebită, care va fi în atenția noastră, este introducerea și extinderea treptată a energiei nucleare pentru producerea energiei electrice. În următorii zece ani se vor construi centrale nuclearoelectrice însumînd o putere de 1800—2400 MW. Pentru realizarea acestei importante sarcini, Ministerul Energiei Electrice a întocmit o serie de studii privind amplasarea și alegerea soluțiilor constructive ale centralelor nuclearoelectrice. În următorii ani se vor adînci aceste studii, se vor întocmi proiectele de execuție ale centralelor nuclearoelectrice și se vor lua măsuri pentru formarea și instruirea cadrelor care vor realiza și exploata aceste tipuri de centrale.

O dată cu creșterea puterii instalate în centrale, se va continua dezvoltarea rețelelor electrice din sistemul energetic. Din anul 1971 se va extinde tensiunea de 400 kV la o serie de artere importante, începînd cu liniile de evacuare a puterii din centrala hidroelectrică de la Porțile de Fier.

Prin extinderea tensiunii de 400 kV funcționarea în ansamblu a sistemului energetic va fi mult ameliorată, ridicîndu-se gradul de siguranță și micșorîndu-se pierderile de energie electrică.

Noi linii electrice de 220—400 kV vor fi realizate. Numai în perioada 1971—1975 se vor da în funcțiune peste 2000 km. Pe harta țării vor apărea importante stații de transformare, care vor rezolva alimentarea cu energie electrică a marilor întreprinderi industriale, a centrelor urbane și a zonelor din mediul rural.

Se va acorda în continuare o grijă deosebită extinderii rețelei de distribuție de medie și de joasă tensiune, pentru a satisface în condiții din ce în ce mai bune alimentarea cu energie electrică a tuturor consumatorilor de putere mică și mijlocie.

În perioada 1971—1975 se va termina racordarea la sistemul energetic a tuturor satelor din țară.

Această dezvoltare impetuoasă a industriei energetice va favoriza și mai mult extinderea folosirii energiei electrice în toate activitățile societății.

În industrie, energia electrică va contribui la extinderea tehnologiilor moderne, creșterea productivității muncii, introducerea automatizărilor complexe și la aplicarea metodelor moderne de gestiune și conducere.

Agricultura, la rîndul ei, va putea beneficia în mai mare măsură de avantajele pe care le oferă energia electrică în electromecanizarea proceselor de producție, și în special în sectorul zootehnic, în irigații, precum și introducerea unor metode moderne de creștere a plantelor și animalelor. Energia electrică se va utiliza din ce în ce mai mult în gospodăriile cetățenilor de la orașe și sate.

Inițiată de partid și înfăptuită sub conducerea sa, opera de electrificare a țării se desfășoară cu succes. Realizările de pînă acum ne dau certitudinea că muncitorii, tehnicienii și inginerii din cadrul Ministerului Energiei Electrice, sub conducerea organizațiilor de partid, vor realiza cu succes mărețele sarcini care le revin din Directivele Congresului al X-lea al Partidului Comunist Român.

Centrala electrică de termoficare Craiova

Ing. C. Burducea,
ing. Gh. Chioreanu şi
ing. D. Giurgea *)

Dezvoltarea în ritm susţinut a electrificării ţării asigură una din premisele de bază pentru dezvoltarea economiei noastre în ansamblu, alimentarea cu energia electrică necesară. Centrala electrică de la Craiova face parte din programul impresionant de creştere a puterii electrice instalate şi reprezintă cea mai înaltă treaptă atinsă în dezvoltarea energeticii noastre, atît în privinţa concepţiei, cît şi a mărimii grupurilor şi a indicatorilor tehnico-economici.

Centrala Craiova, care în prezent are o putere instalată de 1000 MW, a fost realizată în două etape. În prima etapă, care s-a încheiat în anul 1966, a fost instalată o putere de 350 MW în două grupuri de cîte 100 MW de condensaţie şi trei grupuri de cîte 50 MW de termoficare. Etapa a doua, care cuprinde două blocuri de cîte 330 MW de condensaţie, a fost realizată în anii 1965—1968. Se mai prevede, pentru definitivarea profilului, instalarea a încă unui grup de 60 MW de termoficare, puterea centralei ajungînd astfel la 1060 MW.

La alegerea amplasamentului centralei Craiova s-a ţinut seama de următorii factori determinanţi :

— valorificarea lignitului din bazinele carbonifere ale Olteniei ; centrala este amplasată

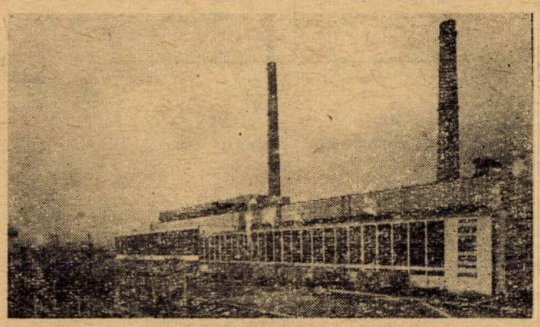


Fig. 1. CET Craiova. Clădirea principală.

în apropierea punctului de convergenţă a căilor ferate pe care se transportă lignitul adus de la diferitele mine din aceste bazine carbonifere ;

— alimentarea Combinatului chimic cu energie electrică şi cu căldură ;

— folosirea optimă a capacităţii de răcire a rîului Jiu.

*) C. Burducea este director tehnic la I.S.P.E., Gh. Chioreanu este directorul CET Craiova, D. Giurgea este inginer şef la I.S.P.E.

Institutul de studii şi proiectări energetice (ISPE) a coordonat concepţia de ansamblu a centralei şi a reuşit să realizeze pentru întreaga centrală o soluţie unitară şi compactă.

Amplasamentul centralei Craiova se limitează la un teritoriu de 52,54 ha, cu un indice de întrebuinţare a terenului pentru construcţii şi căi de comunicaţie de 70%, suprafaţa specifică fiind de 0,050 ha/MW.

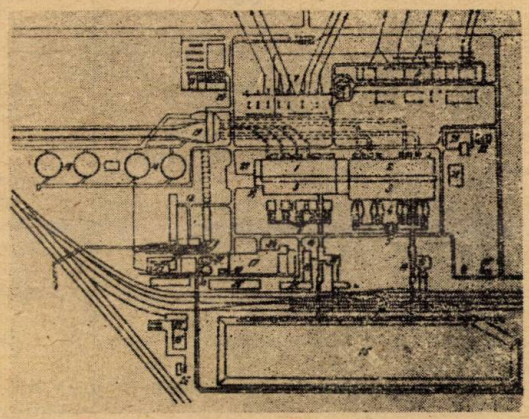


Fig. 2. Planul general al CET Craiova

1 — sala maşinilor, etapa *I* ; *2* — sala maşinilor, etapa II ; *3* — sala cazanelor ; *4* — electrofiltre ; *5* — coş de fum ; *6* — staţia electrică 35 kV ; *7* — staţia electrică 110 kV ; *8* — staţia electrică 220 kV ; *9* — camera de comandă electrică ; *10* — staţia de concasare cărbune ; *11* — clădirea auxiliară a gospodăriei de cărbune ; *12* — culbutor ; *13* — staţiile de descărcare cărbune *1—4* ; *14* — estacade benzi transportoare ; *15* — depozitul de cărbune ; *16* — remiza de buldozere ; *17* — epurarea chimică ; *18* — turnuri de răcire cu tiraj forţat ; *19* — casa sitelor ; *20* — laboratoare ; *21* — turn de decuvare ; *22* — depozit de ulei ; *23* — bloc administrativ ; *24* — staţia de 6 kV servicii proprii ; *25* — depozitul de carburanţi ; *26* — magazia de materiale ; *27* — pichet de incendiu ; *28* — atelier mecanic ; *29* — bazin de neutralizare ; *30* — depozit reactivi ; *31* — cantina ; *32* — atelier auto şi garaj ; *33* — decantor coagulator ; *34* — laborator chimic ; *35* — staţie electroliză ; *36* — remiză locomotive ; *37* — atelier edile.

În figura 1 este prezentată clădirea principală, iar în figura 2 planul general al centralei.

Instalaţii termomecanice. În tabelele 1 şi 2 se prezintă principalele caracteristici tehnice ale cazanelor şi ale turbinelor centralei.

Grupurile nr. 1 şi nr. 2 de 100 MW de condensaţie formează blocuri independente de producţie, funcţionînd în schemă bloc cazan-turbină fără legături transversale.

Degazarea apei de alimentare se face în degazoare verticale la presiunea constantă de 6 at. Pentru pornirea blocurilor cît şi pentru protecţia cazanelor în caz de ieşire bruscă din sarcină a turboagregatelor, sînt prevăzute instalaţii de by-pass de înaltă şi joasă presiune. Alimentarea cu apă a cazanelor este asigurată prin cîte trei pompe de alimentare, dimensionate fiecare pentru 60% din debitul maxim de abur al cazanelor, antrenate cu motoare electrice de 1700 kW prin intermediul cuplelor hidraulice. Debitul de apă de răcire a unui bloc este de 11 700 m^3/h.

Grupurile nr. 3, 4 şi 5 de cîte 50 MW de termoficare sînt prevăzute cu legături transversale pe partea de abur şi pe partea de apă de alimentare.

Alimentarea cu apă a celor trei cazane aferente părții de termoficare se face cu cinci pompe de alimentare, de cîte 385 t/h, din care două sînt de rezervă.

Pentru acoperirea consumurilor de căldură pentru încălzire, grupurile de termoficare au și o instalație de 150 Gcal/h pentru prepararea apei fierbinți la 150°C, compusă din două boi-

Tabelul 1

Caracteristicile principale ale cazanelor de abur

Nr. crt.	Cazane	Grupuri 100 MW, nr. 1, 2	Grupuri 50 MW, nr. 3, 4, 5	Grupuri 330 MW, nr. 7, 8
1	Presiunea (at)	139	139	195
2	Temperatura (°C)	570	570	540
3	Temperatura de supraîncălzire intermediară (°C)	540	—	540
4	Debitul cazanului (t/h)	330	370	510
5	Tipul cazanului	cu circulație naturală	cu circulație naturală	cu străbatere forțată (Benson)
6	Felul combustibilului	lignit + gaze	lignit + gaze	lignit + gaze, sau huilă + gaze
7	Randamentul	87%	87%	87,2% pe lignit 93,0% pe gaze
8	Firma constructoare	V.Z.K.G. Ostrava (R.S.C.)	V.Z.K.G. Ostrava (R.S.C.)	MAN Nürnberg (R.F.G.)

Alimentarea cu abur tehnologic a Combinatului chimic se face la presiunile de 13 și 8 ata. Aburul de 13 ata este asigurat din prizele industriale ale turbinelor nr. 3 și 4, iar aburul

lere de bază de cîte 500 m³, alimentate cu abur din prizele de 1, 2 ata ale turbinelor nr. 3 și 4, și din trei boilere de vîrf de cîte 160 m³, alimentate cu abur de la prizele de 13 ata.

Tabelul 2

Caracteristicile principale ale turbinelor cu abur

Nr. crt.	Turbine	Grupuri 100 MW, nr. 1, 2	Grupuri 50 MW, nr. 3, 4	Grupuri 50 MW, nr. 5	Grupuri 330 MW, nr. 7, 8
1	Puterea turbinei (MW)	100	50	50	330
2	Tipul turbinei	condensație	condensație și și prize reglabile	contrapresiune	condensație
3	Numărul de corpuri	3	2	1	4
4	Numărul de fluxuri la joasă presiune	2	1	—	4
5	Consumul specific garantat al ciclului	2 020 kcal/kWh	—	—	1891 kcal/kWh
6	Presiunea la prizele reglabile	—	13 + 3 ata 0,7 — 2,5 ata	—	—
7	Temperatura de preîncălzire a apei de alimentare	235°C	240°C	240°C	242°C
8	Numărul de prize	8	6	2	7
9	Firma constructoare	Skoda-Plzen (R.S.C.)	Skoda-Plzen (R.S.C.)	Skoda-Plzen (R.S.C.)	Rateau-Schneider (Franța)

de 8 ata de la contrapresiunea turbinei nr. 5, fiind montate și instalații de reducere-răcire corespunzătoare, de rezervă.

Grupurile nr. 7 și 8 de 330 MW funcționează în sistem bloc. Cele două cazane de abur care alimentează o turbină de 330 MW pot funcționa

fie separat, fie în paralel, debitînd pe o conductă comună la turbină.

Fiecare grup este prevăzut cu o turbopompă (*TPA*) de alimentare pentru funcționarea normală, dimensionată la debitul maxim al grupului, și două electropompe (*EPA*) de alimentare, dimensionate la 50% din debitul maxim al grupului.

În conductele de legătură între corpurile de medie presiune și joasă presiune ale turbinelor sînt prevăzute prelevările de abur pentru turbopompele de alimentare și pentru termoficare. Cele două turbopompe de alimentare sînt prevăzute de asemenea cu alimentări de rezervă de la conducta de abur viu și de la prizele nr. 4 ale turbinelor. Aburul destins în cele două corpuri cu două fluxuri este condensat într-un condensator unic. Aburul destins în turbina pompei de alimentare este condensat într-un condensator propriu.

Condensatul principal este preluat din condensator prin intermediul a două pompe și trecut printr-o instalație de demineralizare totală, care tratează 50% din debit la funcționarea normală și 100% în caz accidental. Instalația se compune din patru filtre cu celuloză și trei filtre cu pat mixt.

Schema termomecanică a etapei a II-a este prezentată în figura 3.

În etapa I, turbinele sînt instalate cu axul perpendicular pe axul sălii și în dreptul cazanelor respective.

Clădirea principală cuprinde, în afară de sala mașinilor, corpul buncărelor de cărbune și sala cazanelor.

Sala cazanelor are deschiderea de 26,4 m, distanța între cazane fiind de 27 m, ca și între turbine. Între cazane, începînd de la cota $\pm$ 0,00 m, se găsesc degazoarele cu rezervorul de alimentare vertical.

Sala mașinilor are deschiderea de 35 m și lungimea de 148 m. Corpul buncărelor are deschiderea de 9 m.

În corpul buncărelor se găsesc stațiile electrice de 6 kV pentru alimentarea serviciilor interne derivație, la cota + 12,50 m camerele de comandă și control termic și electric, iar mai sus buncărele de cărbune cu instalațiile de benzi și rezervoarele de apă de răcire lagăre.

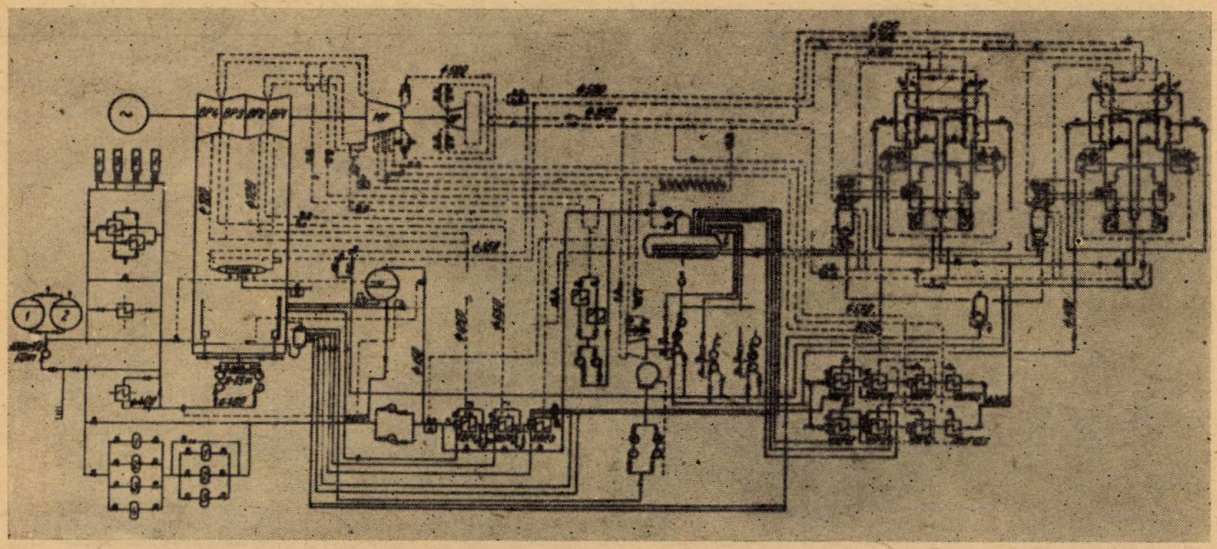


Fig. 3. Schema termomecanică a etapei II (bloc 330 MW).

În sala mașinilor, în afară de turbine sînt amplasate și pompele de alimentare, pompele de răcire, instalația pentru prepararea apei calde pentru termoficare, pompele de rețea și camera de comandă a inginerului de serviciu.

Podul rulant din sala mașinilor are capacitatea de ridicare de 50/63 t.

Montarea statorului generatorului de 100 MW, a cărui greutate (140 t) depășește capacitatea de ridicare a podului rulant, s-a făcut cu un dispozitiv special.

În figura 4 se prezintă secțiunea prin clădirea centralei, etapa I.

În etapa a II-a turbinele sînt amplasate longitudinal în sala mașinilor, care are o deschidere de 35 m, identică cu cea de la etapa I, și o lungime de 171 m, cota de deservire la +10,50 m.

În sala mașinilor se găsesc amplasate pompele de alimentare, pompele de circulație, pompele de condensat, preîncălzitoarele circuitului regenerativ. La cota +0,00 a sălii mașinilor se găsesc instalațiile de tratare chimică a condensatului și a apei de adaos (finisarea). Pe planșeul intermediar de la cota + 5,00 m sînt amplasate turbopompele de alimentare, rezervorul de apă de alimentare, degazoarele, stațiile de

termoficare şi instalaţia de aer comprimat. Sala maşinilor este deservită de un pod rulant a cărui capacitate de ridicare este 2 ×30 t.

Corpul buncărelor are o deschidere de 9 m şi este construit pe 8 nivele. În acest corp sînt amplasate tablourile de 6 şi 0,4 kV, camerele

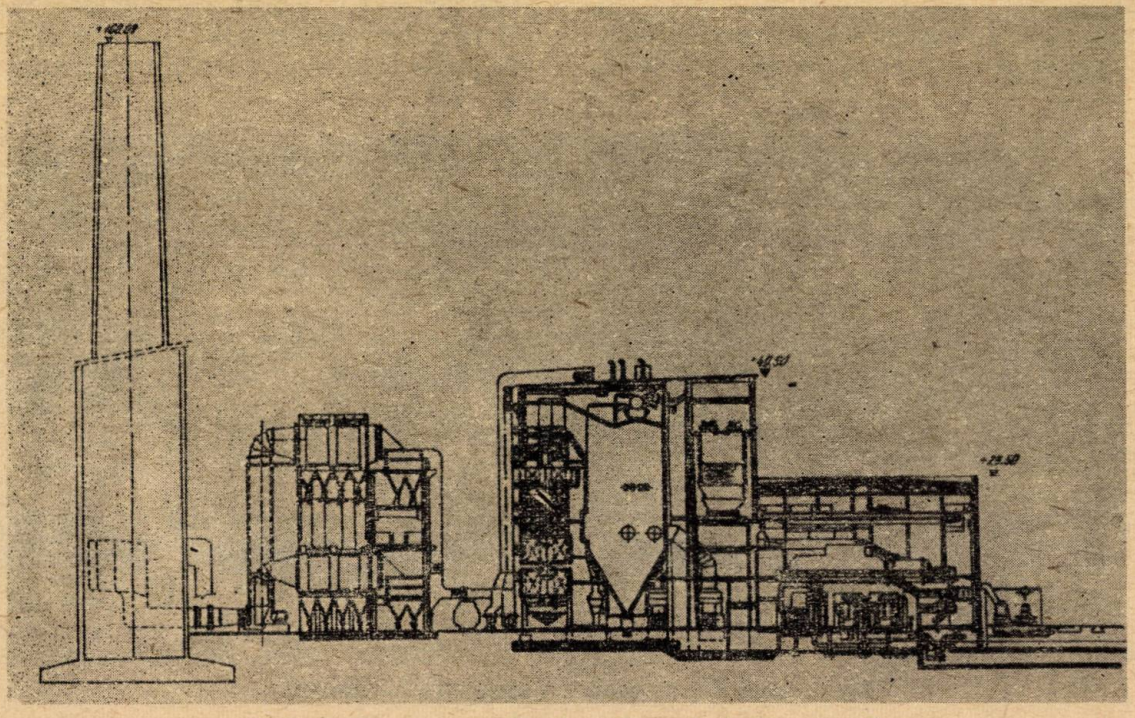


Fig. 4. Secţiune tranversală prin clădirea principală — etapa I.

bateriilor de acumulatoare, camera de comandă a blocurilor şi buncărele de cărbune. Avînd aceeaşi deschidere şi menţinîndu-se nivelul de +31,50 m de la corpul buncărelor din prima etapă, este posibilă alimentarea cu cărbune a cazanelor din etapa a II-a prin intermediul instalaţiei de cărbune din tranşa I.

Sala cazanelor, de tipul semideschisă, are cazanele cu peretele din spate în aer liber, iar acoperişul sprijinit pe cazan. În sala cazanelor se găsesc amplasate degazoarele de tip orizontal şi expandorii de pornire. La cota +18,50 m se găsesc amplasate benzile Redler, care alimentează cu cărbune morile amplasate la cota ±0,00m. La cota −5 m sînt amplasate dispozitivele de evacuare a zgurei şi băile de stingere. În spatele cazanelor se găsesc preîncălzitoarele regenerative de aer tip Rothmühle, ventilatoarele de aer, electrofiltrele şi ventilatoarele de gaze arse, toate dispuse în aer liber.

În figura 5 este prezentată o secţiune prin clădirea principală, etapa a II-a.

Instalaţia de tratare a apei de adaos prin demineralizare totală a fost proiectată încă de la prima etapă, pentru un debit nominal de 550 t/h, cu posibilitatea de amplificare la 700—800 t/h. La grupurile de 100 MW apa de adaos se introduce în condensator, iar la cele de 50 MW în conducta principală de condensat în zona preîncălzitoarelor de joasă presiune.

Apa de adaos pentru blocurile de 330 MW (circa 20 t/h pentru fiecare grup) este preluată din staţia de tratare chimică existentă. Înainte de a fi introdusă în circuitul termic este finisată într-o instalaţie cu filtre cu celuloză şi filtre cu pat mixt.

Alimentarea cu apă brută a centralei se face din conducta regională de apă potabilă Orlea-Craiova, iar pentru rezervă din puţurile din apropierea centralei. Combustibilul folosit de centrală este lignitul din bazinele Olteniei, avînd $P_{ci} = 1600-2000$ kcal/kg, $a = 24\%$ şi $w = 46\%$.

Alimentarea cu cărbune a centralei se face cu vagoane de c. f. de 60 t autodescărcătoare. Cărbunele care soseşte la centrală cu o granulaţie 0—80 mm este concasat pînă la 0—20 mm şi trimis pe un sistem de benzi transportoare fie spre a fi ars în cazane, fie spre depozitul exterior, care are o capacitate de 900 000 t (rezervă 22 zile). Manipularea combustibilului în depozit se face cu ajutorul buldozerelor de mare capacitate.

Cărbunele care soseşte accidental la CET cu o granulaţie pînă la 350 mm este concasat într-o primă treaptă pînă la 80 mm, după care intră în fluxul normal.

Debitul orar de cărbune necesar centralei la puterea de 1000 MW este de 1800 t/h

Zgura şi cenuşa rezultate din arderea combustibilului (circa 440 t/h) sînt evacuate hidraulic spre depozite.

Etapa I este prevăzută cu două staţii de pompare, fiecare cu cîte patru pompe tip Bagger, care trimit amestecul de apă şi cenuşă la un depozit situat la circa 2,5 km în vechea buclă a Jiului. După decantare în depozit, apa este recirculată la centrală şi utilizată din nou.

Generatoarele electrice de 125 MVA au tensiunea de 13,8 kV şi sînt răcite cu hidrogen. Generatoarele de 62,5 MVA au tensiunea de 10,5 kV şi sînt răcite cu aer.

Transformatoarele bloc sînt de conexiune YD-11, avînd un raport de transformare de

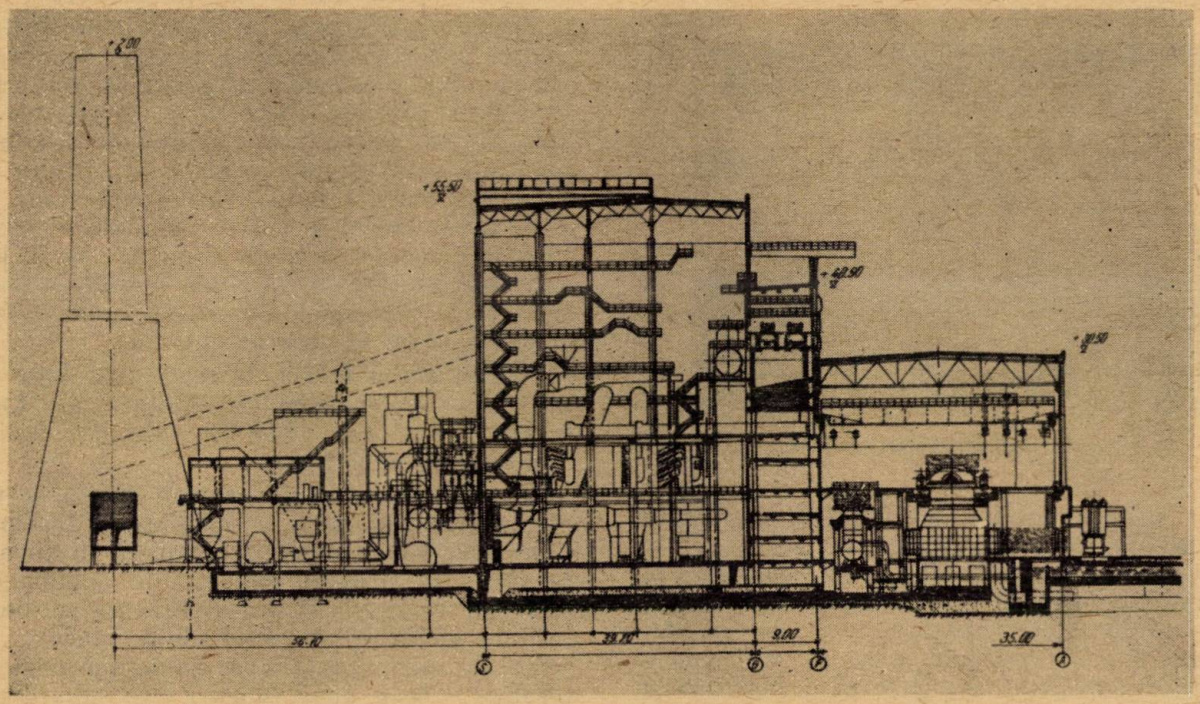


Fig. 5. Secţiune transversală prin clădirea principală — etapa a II-a.

Evacuarea zgurei şi cenuşii de la cazanele etapei a II-a se face hidraulic pînă la bazinele de aspiraţie a pompelor de cenuşă, utilizîndu-se ejectoare cu apă. Cenuşa captată de la electrofiltre este evacuată pneumatic pînă la un ciclon de evacuare a aerului de unde există posibilitatea de a fi transportată fie la buncărul de cenuşă uscată, spre a fi folosită în scopuri industriale, fie la bazinul de aspiraţie a pompelor de cenuşă.

Pompele de cenuşă, în număr de opt (cîte patru pe fiecare bloc), transportă amestecul apă-cenuşă la un depozit nou, amplasat pe malul drept al Jiului la circa 3 km de centrală.

Instalaţiile electrice. Generatoarele electrice ale etapei I debitează prin transformatoarele bloc cu două înfăşurări pe staţia de 110 kV, staţie cu bare duble şi bare de transfer. Legătura cu staţia de 220 kV se face prin două autotransformatoare de 200 MVA. De la staţia de 110 kV se alimentează liniile care pleacă spre Combinatul chimic şi spre sistemul naţional, precum şi două transformatoare de cîte 40 MVA, 110/35/6 kV, care sînt racordate la staţia de 35 kV şi la staţia generală de 6 kV servicii interne. Transformatoarele de servicii interne sînt de cîte 16 MVA fiecare, 13,8/6 kV, respectiv 10,5/6 kV.

121 ± 5%/13,8 kV respectiv 121 ± 5%/10,5 kV. Legătura cu generatoarele este realizată în interiorul clădirii cu conductoare din profile de aluminiu neizolate, iar în exterior protejate cu ţevi metalice speciale.

Staţia de 220 kV este prevăzută cu bare duble şi bară de transfer. Generatoarele de 330 MW sînt legate bloc la această staţie. Sînt prevăzute legături în 220 kV cu sistemul energetic naţional.

Ambele staţii exterioare au cuple transversale. Întrerupătoarele staţiei de 110 kV sînt cu aer comprimat, puterea de rupere 4000 MVA, iar cele pentru staţia de 220 kV au putere de rupere de 7000 şi 10 000 MVA.

Obiectivele exterioare importante, ca gospodăria de cărbune, instalaţia de evacuare a zgurei şi cenuşii, circuitul hidrotehnic etc., sînt legate permanent printr-o dublă alimentare la staţia generală de conexiuni de 6 kV. Una din alimentări este permanent în funcţiune, iar cea de a doua se conectează automat în caz de pierdere a tensiunii. Funcţionarea instalaţiilor importante, avînd motoarele de acţionare de 6 kV, este asigurată prin menţinerea întrerupătoarelor în caz de avarie conectate pe o perioadă de aproximativ şase secunde.

În etapa a II-a, fiecare generator de 330 MW debitează puterea prin cîte un transformator bloc de 400 MVA la barele staţiei electrice de conexiune de 220 kV. Între generator şi transformatorul bloc există cîte o derivaţie pentru legătura la transformatoarele de servicii proprii ale blocului. Fiecare bloc are două transformatoare de servicii proprii, 20 MVA, 24/6,3 kV,

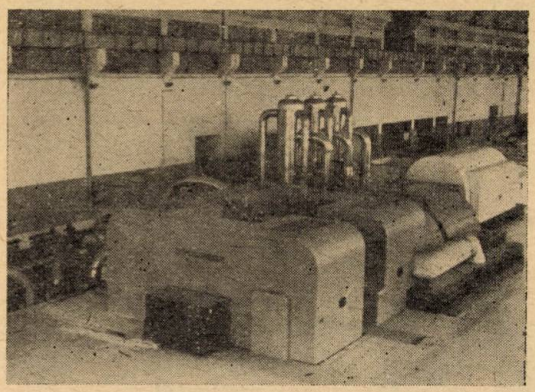


Fig. 6. Turbogenerator 330 MW.

cele două cazane avînd consumurile repartizate pe cîte un transformator.

Transformatoarele blocurilor se racordează la cele două sisteme de bare ale staţiei de 220 kV, prin cîte două întrerupătoare, ceea ce permite, în cazul unui scurtcircuit pe unul din sistemele de bare de 220 kV, ca generatorul să funcţioneze în continuare pe sistemul neavariat.

Pentru alimentarea serviciilor proprii generale, pentru pornirea şi oprirea grupurilor şi ca rezervă pentru transformatoarele de derivaţie de 20 MVA sînt prevăzute două transformatoare, unul racordat la 220 kV, iar celălalt de la barele de 110 kV.

Transformatoarele principale de 400 MVA, 24/231 kV sînt prevăzute cu comutatoare de reglaj în sarcină a tensiunii, cu acţionare locală sau din camera de comandă. Cuva transformatorului bloc este de tip clopot, ceea ce permite decuvarea transformatorului în turnul de decuvare al centralei.

Întrerupătoarele prevăzute a se monta în celule de 220 kV sînt de fabricaţie Merlin-Gerin tip PR, cu comandă oleo-pneumatică şi suflaj cu aer comprimat.

Staţiile de 6 kV şi 0,4 kV ale blocurilor şi serviciilor proprii generale sînt amplasate în corpul buncărelor. De asemenea, în corpul buncărelor sînt amplasate transformatoarele 6/0,4 kV de tip uscat, bateriile de acumulatoare şi tablourile de curent continuu 220 V, 115 V şi 60 V, redresoarele de curent continuu şi grupurile convertizoare pentru furnizarea de curent alternativ în caz de avarii.

Instalaţii de automatizare. Pentru etapa I, supravegherea şi conducerea proceselor tehnologice se fac din camerele de comandă şi control termic şi electric. Prin măsura, comanda la distanţă şi automatizarea proceselor a fost posibilă unificarea controlului şi a comenzii unui bloc, la exploatarea normală, într-un singur loc.

Camerele de comandă, cîte una pentru două grupuri, se găsesc la cota 12,50 m în corpul buncărelor. Comenzile pentru pornirea şi oprirea grupului se execută de la faţa locului.

Pentru coordonarea funcţionării unităţilor şi pentru repartiţia optimă a sarcinii pe grupuri, s-a prevăzut o cameră a inginerului de serviciu în sala turbinelor, cota 12,50 m. În această cameră se retransmite indicarea mărimilor esenţiale care caracterizează funcţionarea unităţilor, precum şi semnalizările importante. Tot în această cameră se află şi comanda serviciilor interne generale. Această cameră este în legătură cu camerele de comandă şi control termic şi electric, cu camerele de comandă ale staţiilor electrice şi cu dispecerul naţional.

Pentru etapa a II-a, întreaga instalaţie este prevăzută cu un grad de automatizare foarte ridicat, la nivelul atins de ultimele realizări din tehnica mondială.

Instalaţiile prevăzute permit ca să se facă conducerea automată a celor două blocuri şi a instalaţiilor anexe dintr-o cameră de comandă termică. În această cameră de comandă se aduc şi comenzile şi supravegherea serviciilor interne electrice ale celor două blocuri. Din punct de vedere funcţional, camera de comandă termică a celor două blocuri este subordonată camerei de dispecer existente, în care se găseşte inginerul de serviciu şi care a fost completată în mod corespunzător.

Nivelul înalt de automatizare realizat permite ca pornirea, exploatarea şi oprirea blocurilor să se facă numai din camera de comandă termică de bloc, rămînînd ca manual să se execute la faţa locului, la pornirea sau oprirea completă a acestora, numai anumite manevre preliminare, ca de exemplu manevra ventilelor de aerisire, ventilelor de izolare a pompelor etc.

Turbinele sînt prevăzute cu instalaţii de pornire şi oprire automată, în schemă secvenţială, care permite ca toate operaţiile de pornire a grupului să se facă complet automat. Instalaţia permite să se realizeze şi sincronizarea şi încărcarea automată a grupului pînă la sarcina dorită. Turbina a fost echipată cu un regulator electrohidraulic.

Aparatajul de automatizare, măsură şi reglare este complet tranzistorizat, cu performanţe ridicate şi o siguranţă mare în exploatare.

Camera de comandă a blocurilor este echipată cu aparataj miniaturizat, ceea ce permite să se reducă dimensiunile pupitrului de comandă.

În scopul măririi performanţelor tehnice şi siguranţei de funcţionare a blocurilor, pe fiecare bloc se prevede cîte un calculator de informaţie,

cu o capacitate de 4096 cuvinte de cîte 15 biți pe ferite și 60 000 cuvinte pe tambur magnetic.

Aceste calculatoare au următoarele funcții principale :

— înregistrarea la mașina de scris a circa 280 parametri principali ai blocului, la intervale de timp de 30—60 minute, la cerere anumiți parametri putînd fi înregistrați la intervale de timp mai scurte ;

— controlul ciclic al parametrilor, cu semnalizarea optică și acustică a depășirilor limită și cu înregistrarea la mașina de scris cu culoare roșie a parametrilor depășiți ;

— determinarea periodică a indicilor de calitate ai instalației ; randamentul cazanului, turbinei, generatorului, pompelor de alimentare, performanțelor schimbătoarelor de căldură, condensatorului, consumul specific de căldură al blocului și randamentul net al blocului.

În plus, cele două calculatoare permit analiza „post mortem" și preluarea semnalelor de alarmă de la calculatorul în avarie.

Este prevăzut un laborator de automatizări, dotat cu aparatura necesară, care va permite să întrețină în mod corespunzător aparatajul de automatizare, măsură și reglare.

În figura 7 este prezentat planul de dispoziție a echipamentelor în clădirea principală.

mente de cîte 3 m³/s fiecare. Soluția pentru baraj a fost definitivată la faza de proiectare cu ajutorul încercărilor pe model.

Instalațiile realizate la prima etapă asigurau un debit de 24 m³/s, corespunzător unei puteri a centralei de 700 MW. Pentru a se ajunge la debitul de 38 m³/s a fost necesar a se mări priza existentă cu încă 7 m. Pentru menținerea gradului de purificare a apei decantate a fost necesară mărirea capacității decantorului cu 50%, adică cu încă patru camere suplimentare.

Canalul de aducțiune deschis, din prima etapă, dimensionat pentru un debit de 24 m³/s, a fost dublat de un canal închis dublu compartimentat, capabil să transporte debitul de 14 m³/s.

Casa sitelor existentă a fost echipată cu încă trei site rotative montate în spațiile rezervate în acest scop, asigurînd astfel apa de răcire necesară primului grup de 330 MW. Asigurarea curățirii apei pentru cel de-al doilea grup de 330 MW s-a făcut printr-o nouă sită de 40 000 m³/h, montată în extinderea casei sitelor.

În perioadele cînd debitul pe Jiu este insuficient pentru asigurarea răcirii în circuit închis s-au prevăzut pentru etapa I 12 celule de turn tip Armabeton (tiraj forțat) de cîte 2 000 m³/h cu o stație de pompare, iar pentru

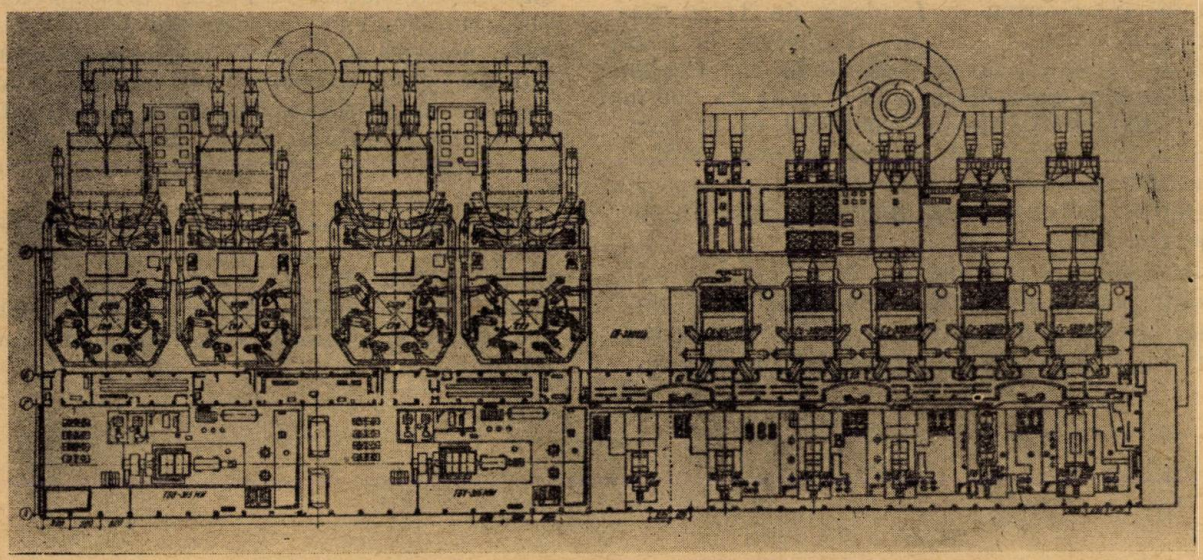


Fig. 7. Planul de dispoziție a echipamentelor în clădirea principală.

Instalații hidrotehnice. Alimentarea cu apă industrială și de răcire a Complexului Craiova are ca sursă rîul Jiu, cu un debit mediu anual de 76 m³/s.

Pentru a asigura captarea debitului necesar, de 38 m³/s, s-a realizat un baraj de 138 m deschidere, cu o retenție pînă la cota 85,50 m MN. Lacul creat cu bieful amonte, în lungime de aproximativ 4 km, este conturat de digul de protecție. Lîngă baraj s-a prevăzut o instalație de decantare, formată din 12 compartietapa a II-a, o stație de pompare echipată cu patru pompe și patru turnuri de răcire cu tiraj forțat tip Hamon, cu un debit de 20 000 m³/h fiecare, și trei celule tip Armabeton, cu un debit de 2 000 m³/h fiecare.

Pentru cazul debitelor minime pe Jiu este prevăzută o instalație de tratare de 1 000 m³/h a apei de adaos în circuitul de răcire. Aceasta constă dintr-un decantor coagulator de tip deschis cu agitator de adaos reactiv (lapte de var și clorură ferică).

Partea de construcții. Clădirea principală, alcătuită din sala mașinilor, corpul buncărelor și sala cazanelor, are scheletul de rezistență din beton armat monolit. Acoperișul sălii mașinilor este din forme metalice cu plăci prefabricate termoizolate.

Din cauza rezistențelor admisibile pe teren, relativ mici, fundarea stîlpilor sălii mașinilor s-a făcut pe tălpi continue, iar corpul buncărelor s-a fundat pe un radier general. Acolo unde a fost posibil s-au utilizat și materialele prefabricate (estacada de cărbune etc.).

La proiectarea buncărelor s-a ținut seama de caracterul aderent al cărbunelui și s-au luat măsuri pentru reducerea și împiedicarea formării bolților de cărbune, prin asigurarea unei pante mari de scurgere și prin injecții intermediare de aer comprimat.

Prin montarea verticală a degazoarelor (la etapa I) s-a evitat încărcarea clădirii buncărelor cu o sarcină suplimentară importantă.

În spatele sălii cazanelor se găsesc construcțiile electrofiltrelor cu carcase de beton armat, stațiile de pompare a amestecului apă-cenușă, canale de gaze arse, din grinzi tubulare, monolite, căptușite la interior cu izolații termice, și cele două coșuri de fum din beton armat monolit glisat.

Coșul de fum, aparținînd etapei I, înalt de 160 m, are o talpă de fundație de 34 m diametru, la cota — 5,30 m; diametrul la bază este de 15,16 m, iar la vîrf de 10 m. Pentru coșul de fum de la etapa a II-a, înalt de 200 m și cu diametrul interior de 27,50 m la bază și 8,20 m la vîrf, s-a utilizat aceeași soluție constructivă adoptată și la coșul din etapa I, și anume: beton armat monolit turnat în cofraje glisante.

Un volum important de construcții a fost necesar pentru executarea gospodăriei de cărbune, compusă din patru stații de descărcare de 150 m lungime, două culbutoare de vagoane, trei stații de concasare, estacada pentru benzi și căi ferate aferente.

Blocul de exploatare este legat de clădirea principală și a fost executat din beton armat monolit.

Elementele de construcție ale stațiilor exterioare au fost executate din stîlpi de beton armat centrifugat.

La centrală, s-a mai prevăzut un turn de decuvare, o gospodărie de ulei, magazie de materiale, stații de reglare gaze, remiză de buldozere, depozit de hidrogen, depozit de carburanți, un bloc de laboratoare, un atelier de întreținere, căile, ateliere mecanice etc.

CET Craiova reprezintă, din punct de vedere arhitectural, o îmbinare între util și frumos, o exprimare sobră și compactă a unei mari diversități de utilaje tehnologice. De la rezolvarea armonioasă a planului general pînă la exprimarea simplă și clară a volumelor și a fațadelor s-au studiat și aplicat cele mai moderne soluții în construcție, astfel ca în final să se obțină un complex cu profund caracter industrial.

Silueta clădirii principale domină prin proporțiile sale impunătoare. Panouri mari prefabricate fațetate îmbracă volumul corpului buncărelor astfel încît fațada prinde diferite umbre, realizîndu-se o suprafață mai vibrată. La celelalte clădiri s-au folosit aceleași elemente constructive, ca: ferestre din beton prefabricate, mozaicate, baghete verticale, panouri orizontale pline alternînd cu panouri mari de ferestre ambutisate, estacade îmbrăcate cu azbociment ondulat astfel încît să se obțină un complex industrial, modern, la nivelul tehnicii actuale.

La realizarea acestei importante termocentrale și-au adus contribuția prețioasă proiectanții Institutului de studii și proiectări energetice, constructorii Întreprinderii ISCI-Craiova a M.E.E. și montorii Întreprinderii Energomontaj.

— — o — —

Realizări în montajul centralelor electrice

Ing. **A. Măcriş** şi ing. **I. Muşat** *)

În octombrie 1950, Comitetul Central al Partidului Muncitoresc Român a aprobat planul de electrificare a ţării pentru etapa 1951—1960, plan ce avea o deosebită însemnătate în procesul de lichidare a înapoierii economice şi culturale a ţării, pe baza trecerii la marea producţie socialistă în industrie şi agricultură.

Cu un an înainte, adică în 1949, s-au organizat institute de proiectare şi întreprinderi, care, prin activitatea lor, să poată da viaţă planurilor de electrificare a ţării. Printre acestea, unitatea de montaj a centralelor electrice, care a funcţionat şi funcţionează în cadrul Ministerului Energiei Electrice, a cunoscut o dezvoltare impetuoasă, strîns legată de dezvoltarea întregii economii a ţării. Funcţionînd la început ca o unitate de montaj în cadrul întreprinderii Electromontaj, mai apoi (din 1957) ca Grup de şantiere montaj centrale electrice în cadrul Trustului Electromontaj, iar începînd din anul 1962 ca Întreprinderea Energomontaj, această organizaţie de montaj a centralelor electrice a avut realizări deosebite în acest domeniu.

1. **Puteri instalate, caracteristici.** De la înfiinţarea ei, organizaţia de montaj a M.E.E. a executat montajul întregii puteri instalate în centralele electrice (termoelectrice, hidroelectrice şi pe gaze) funcţionînd în cadrul Ministerului Energiei Electrice, precum şi marea majoritate a grupurilor energetice ce funcţionează în cadrul diferitelor unităţi industriale aparţinînd altor ministere.

În cei 20 de ani de activitate, Întreprinderea Energomontaj a executat montajul unor grupuri energetice însumînd o putere totală de 5156,5 MW, aceasta reprezentînd de 7 ori puterea instalată în funcţiune în ţara noastră în anul 1950 (740 MW). Din figura 1 rezultă modul în care a evoluat montajul acestei puteri instalate pe perioada 1949—1968. De asemenea, rezultă că puterea instalată anual este în continuă creştere.

Pentru folosirea cît mai judicioasă a potenţialului energetic al ţării, an de an a crescut, în cadrul puterii total instalate, ponderea grupurilor energetice montate în centrale hidroelectrice, a celor cu putere unitară sporită şi a celor avînd parametri înalţi de funcţionare. Pentru o ilustrare a celor arătate mai sus, se impune o scurtă trecere în revistă a caracteristicilor tehnice principale ale echipamentelor montate.

În centralele termoelectrice, puterea unitară a grupurilor a crescut de la 20 MW (CET Grozăveşti), în 1950, la 315 MW (CET Craiova), în 1967. În tabelul 1 se indică modul în care a crescut puterea unitară a grupurilor instalate.

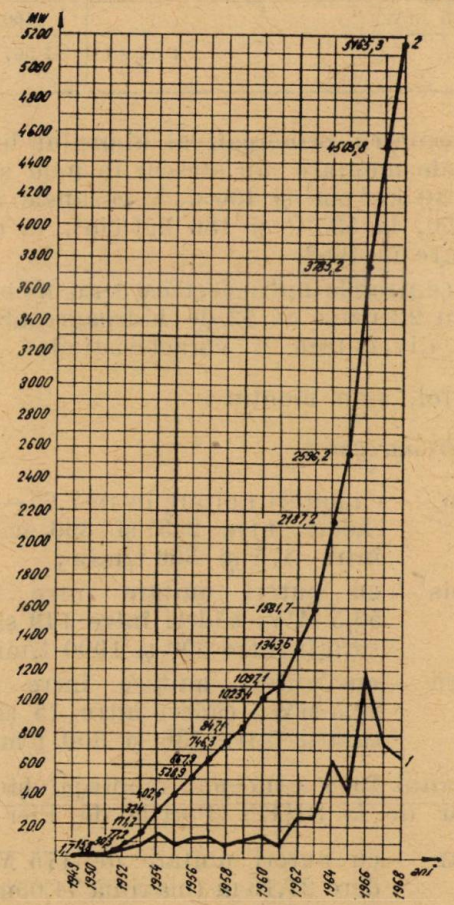


Fig. 1. Capacităţi puse în funcţiune în perioada 1949 — 1968 prin unităţile de montaj ale Întreprinderilor „Electromontaj" şi „Energomontaj" Bucureşti:
1 — curba MW anuală; *2* — curba MW cumulată.

De asemenea, ponderea puterii totale a grupurilor cu putere unitară mare a crescut în cadrul puterii totale instalate aşa cum se arată în tabelul 2.

Tabelul 1

Centrala	Puterea grupului, MW	Anul punerii în funcţiune
Grozăveşti	20	1928
Steaua Roşie-Fîntînele	25	1954
Paroşeni	50	1956
Luduş	100	1963
Paroşeni	150	1964
Luduş	200	1966
Craiova	315	1967

*) Ing. A. Măcriş este director tehnic al întreprinderii „Energomontaj"; ing. I. Muşat este şeful serviciului tehnologic din aceeaşi întreprindere.

Tabelul 2

Putere instalată în grupuri	1958		1960		1966		1967	
	MW	%	MW	%	MW	%	MW	%
sub 1 MW inclusiv	325	21,5	286	16,1	189	4,2	189	3,6
1—25 MW inclusiv	1 032	68,5	1 145	64,2	1 583	35,3	1 645	31,6
peste 25 MW	150	10	348	19,7	2 699	60,5	3 364	64,8
Total	1 507	100	1 779	100	4 471	100	5 198	100

Parametrii principali ai aburului livrat de cazanele montate au crescut în mod simțitor, de la 30 kgf/cm² și 400°C, la cazanele montate în 1950, la 535°C și 186 kgf/cm², la cazanele montate în 1968.

În centralele hidroelectrice s-au montat 785 MW în 22 uzine cu 52 de hidroagregate, cu o mare diversitate a caracteristicilor tehnice.

Astfel, s-au montat :

Hidroagregate :

Pelton — cu puteri unitare între 7,65—7,7MW, căderi între 233 și 396 m, turații între 375 și 500 t/min;

Francis — cu puteri unitare între 12,5 și 56,5 MW, căderi între 149 și 396 m, turații între 300 și 1000 t/min;

Kaplan — cu puteri unitare între 3,75 și 22,5 MW, căderi între 15 și 26 m, turații între 136 și 300 t/min.

În anul 1968 a început montajul hidroagregatelor de la SHEN Porțile de Fier de tip

Kaplan — cu puteri unitare de 175 MW, cădere 27,16 m (maximă 34,05m), turația 71,5 t/min.

De asemenea, echipamentul hidromecanic aferent acestor uzine are caracteristici de o mare diversitate.

2. **Tehnologii de montaj folosite** Pentru rezolvarea problemelor tehnice de montaj al echipamentului energetic perfecționat, din punct de vedere tehnic, organizația de montaj a fost preocupată în mod permanent de folosirea unor tehnologii de montaj care, pe de o parte, să asigure o calitate corespunzătoare a lucrărilor de montaj, iar, pe de altă parte, să permită o creștere continuă a productivității muncii.

Pînă în anul 1967, echipamentele termoenergetice erau aproape în întregime importate, iar cele hidroenergetice în cea mai mare parte. În această perioadă, tehnologia de montaj a fost rezolvată fie prin importarea documentației tehnologice de montaj (grupuri de 50, 150, 200 MW din U.R.S.S.), fie prin acordarea de asistență tehnică la montaj de către furnizorii de echipament, în scopul asigurării desfășurării corecte și operative a montajului în condițiile lipsei de experiență în lucrări de montaj (1950—1955), sau în condițiile lipsei de cadre tehnice datorită unei creșteri a volumului de montaj, de 315% în perioada 1962—1967 (adică o medie anuală de peste 50%).

Începînd încă din anul 1963, organizația de montaj a început să elaboreze documentații tehnologice de montaj, cu scopul diminuării volumului de import în acest domeniu, ajungînd ca în prezent să nu mai importe asemenea documentații pentru nici o lucrare termoenergetică, ci numai în volum foarte redus, pentru lucrări hidroenergetice.

În cele ce urmează vom arăta, pe scurt, care sînt tehnologiile de montaj folosite pentru montarea principalelor echipamente energetice din centralele electrice.

2.1. *Tehnologia de montaj a cazanelor de abur.* Montarea cazanelor de abur, agregate energetice cu greutățile și dimensiunile de gabarit cele mai mari dintr-o centrală electrică, s-a făcut în general prin preasamblarea lor la sol în blocuri de montaj și montarea lor pe fundație cu ajutorul unor macarale cu capacitate și înălțime mare de ridicare.

În funcție de modul în care furnizorul a construit și livrat un anumit tip de cazan, tehnologia de montaj a fost aplicată în două variante, din punct de vedere al mărimii și numărului blocurilor de montaj.

Aceste variante constau în :

a) Montarea unor subansambluri livrate de uzina furnizoare la mase și gabarite vagonabile, cu preasamblarea coloanelor sau a pereților pe o platformă exterioară. Tot pe platformă se preasamblează, uneori, două sau mai multe blocuri de uzină, în limita capacității de ridicare a macaralei (de exemplu, blocuri de ecran).

b) Montarea agregatului de cazan din blocuri mari, plane sau tridimensionale, preasamblate pe platforma auxiliară. Masa totală a blocurilor preasamblate se limitează, de asemenea, la capacitatea portantă a macaralei turn. În această variantă de montaj se preasamblează fie un perete întreg, compus din trei coloane și elementele de legătură alcătuind un bloc — la care o

dimensiune este foarte mică în raport cu celelalte două — fie un bloc spațial, în care sînt cuprinși cei patru pereți ai unei zone de la focar sau convectiv. Asemenea blocuri se preasamblează în special la cazanele cu circulație forțată, la care țevile sistemului de vaporizare au diametrul cuprins între 32 și 45 mm și sînt limitate ca gabarit pe verticală de utilajele de pe platforma (macarale-capră 30 tf, 32 m) cu înălțimea de ridicare la circa 7 m.

Pentru montarea cazanelor cu circulație forțată, această metodă are avantajul lărgirii substanțiale a frontului de lucru, prin asamblarea pe platformă a întregului cazan și prin efectuarea volumului principal de montaj la o înălțime redusă, comparabil cu cazanul. Avantajul se resimte mai ales la lucrările de sudură și tratament termic al țevilor sistemului de vaporizare, al căror număr este destul de mare (12 456 bucăți suduri de montaj la cazanul P-55, revenind în medie circa 1 500 suduri pe bloc).

Prima variantă (a) s-a aplicat în general la montarea cazanelor mici (pînă la 120 t abur/h), cazanelor furnizate de R.S.C. (Luduș, Craiova, Grozăvești, Oradea) și a cazanelor livrate de firma MAN (Craiova).

Cea de-a doua variantă (b) s-a aplicat la montarea cazanelor cu debite peste 400 t abur/h, livrate de U.R.S.S. sau fabricate în țara noastră.

2.2. *Tehnologia de montaj a turboagregatelor.* Ca și la montarea cazanelor, tehnologia de montaj a turboagregatelor a fost determinată, în principal, de modul în care furnizorul a construit și livrat echipamentul.

Dintre operațiile de montaj vom menționa pe cele mai importante și care au suferit modificări în perioada la care ne referim :

a) Așezarea ramelor sau a cilindrilor pe fundație se face fie pe plăci încastrate, fie pe betonul buceardat. În prima variantă, volumul de lucru este mai mare și, ca urmare a acestui fapt, a fost nevoie să se adopte unele soluții care să reducă acest volum de lucru. În acest sens, s-a convenit ca plăcile încastrate să nu mai fie înglobate în fundația turbinei o dată cu montarea acesteia, ci să fie montate și centrate de către organizația de montaj după ce fundația a fost turnată. În acest fel, s-a reușit să se reducă în mod substanțial volumul de prelucrare a acestei plăci la fața locului.

b) Centrarea turbinei, operație de înaltă tehnicitate, a fost de asemenea perfecționată. Prin metodele de lucru folosite s-a reușit să se obțină lucrări de mai bună calitate și într-un timp mai scurt. Bineînțeles că și în acest domeniu un cuvînt hotărîtor îl are furnizorul de echipament. Vom menționa, în acest sens, centrarea turbinelor cu pene reglabile, cu cricuri cu șurub sau prin metoda dinamometrelor.

c) Metoda de curățire a conductelor circuitului de ulei al turboagregatului a fost continuu îmbunătățită. Trecînd de la curățirea mecanică (cu perii de sîrmă și sablare cu nisip) la curățirea chimică cu acid clorhidric sau acid ortofosforic, s-a ajuns ca această operație să dureze un timp foarte scurt și să asigure o foarte bună calitate a lucrării.

d) Deși a fost folosită numai la montarea grupului de 100 MW de la CET „Steaua Roșie" — Fîntînele, menționăm soluția de montaj a cilindrului de înaltă presiune al turbinei complet asamblat, inclusiv rotorul, asamblarea făcîndu-se în fabrică, ceea ce a redus simțitor durata de montaj la șantier.

2.3. *Tehnologia de montaj a conductelor.* Prin organizarea în cadrul întreprinderii Energomontaj a unei baze de producție industrială și a unor puternice gospodării de conducte în cadrul șantierelor dotate cu utilaje corespunzătoare s-a reușit să se îmbunătățească în mod substanțial tehnologia de montaj a conductelor.

Acest lucru s-a făcut în principiu prin prefabricarea unor subansamble de conducte și preasamblarea acestora în blocuri de montaj limitate numai de capacitatea de ridicare a mecanismelor de la locul de montaj și spațiile disponibile.

În acest sens, în prezent se execută în mod centralizat flanșe, curbe, teuri, reducții care apoi sînt preasamblate cu porțiunile drepte de conducte și cu armături formînd blocuri de montaj. Prin aceasta s-a reușit să se ajungă la o specializare mai mare a muncitorilor, ceea ce asigură o calitate mai bună a lucrărilor și un timp mai redus de execuție. Putem menționa lucrările executate la CET Craiova, etapa 2 × 315 MW, CTE Deva și CET Govora.

Printr-o judicioasă detaliere a proiectelor de execuție s-a reușit execuția în avans a unui volum important de conducte pentru epurările chimice, cu scopul de a fi pregătite (cauciucate) înainte de montarea echipamentului (în principal a filtrelor).

2.4. *Tehnologia de montaj a echipamentelor hidromecanice.* Pentru a ilustra cele mai bune realizări în acest domeniu, menționăm cîteva soluții privind tehnologia de montaj a echipamentelor hidromecanice aplicate în prezent la lucrările de la Porțile de Fier, deoarece acestea reprezintă o sinteză a experienței căpătate în acest domeniu.

Pentru montarea pieselor înglobate sînt folosite trei soluții :

— în goluri de montaj ;
— în beton primar ;
— în prefabricate de beton armat.

Aplicarea uneia sau alteia dintre aceste soluții se face în funcție de avantajele și dezavantajele pe care le prezintă fiecare, legate de situația concretă de la fiecare punct de lucru în parte.

Este de menționat că, pentru scurtarea duratei totale de construcții și montaj, la priza cen-

tralei (vane și grătare mobile), deși soluția de montaj a fost în goluri, totuși ea a prezentat o deosebire față de metoda clasică, montajul executîndu-se pe porțiuni, în paralel cu executarea construcției la cote superioare.

O dată cu creșterea greutăților unitare și a gabaritelor echipamentelor hidromecanice, și în acest domeniu a început să se practice metoda preasamblării, în acest domeniu cunoscînd o amploare deosebită executarea lucrărilor de la ecluza SHEN Porțile de Fier.

2.5. *Tehnologia de montaj a instalațiilor electrice.* Soluțiile tehnologice de montaj al instalațiilor electrice au cunoscut o schimbare radicală, ca urmare a prefabricării elementelor componente ale acestor instalații.

Vom menționa cîteva din aceste soluții :

a) Montarea stațiilor electrice de 0,4 kV și 6 kV se face în prezent într-un timp scurt și cu forțe de muncă reduse ca număr, ca urmare a trecerii de la celulele construite din beton și mai apoi din construcția metalică cu pereți de beton la celule prefabricate de tip „Electroputere".

b) Executarea gospodăriilor de cabluri folosind construcțiile metalice prefabricate (stelaje metalice de cabluri tip „Energomontaj") se face într-un timp foarte scurt și cu economii importante de metal.

c) Folosirea pe scară largă a cablurilor cu izolație din P.V.C. a simplificat în mod substanțial operațiile de executare a capetelor terminale, reducînd în acest fel manopera aferentă executării acestei lucrări.

d) Introducerea metodei de îmbinare a barelor stațiilor electrice prin sudură în loc de șuruburi.

e) Montarea instalațiilor de punere la pămînt și de aer comprimat din elemente prefabricate.

2.6. *Tehnologii de sudură și controlul sudurilor.* Dată fiind importanța lucrărilor de sudură, ca urmare a creșterii parametrilor instalațiilor energetice (presiune și temperatură) și a volumului de lucrări de sudură, acest sector de activitate a cunoscut o dezvoltare din ce în ce mai mare și o perfecționare continuă.

La lucrările de montaj, pentru îmbinarea țevilor suprafețelor de încălzire și a conductelor de înaltă, medie și joasă presiune, în prezent se folosesc următoarele trei metode de sudare :

— sudarea cu flacără oxiacetilenică (autogenă) ;

— sudarea cu arc electric, folosind electrozi înveliți ;

— sudarea în mediu de gaz protector (argon arc), folosind electrod nefuzibil de wolfram.

Pentru controlul nedistructiv al îmbinărilor sudate se aplică următoarele metode :

— defectoscopia magnetografică ;
— defectoscopia cu ultrasunete ;
— radiografierea cu raze gamma (Ir 192) ;
— radiografierea cu raze X (Röntgen).

În domeniul executării sudurilor se poate cita ca o metodă nouă executarea sudurilor în mediu de gaze inerte.

Datorită faptului că îmbinările sudate cu arc electric au proprietățile mecanice și rezistența în timpul funcționării mult mai avantajoase decît îmbinările sudate cu flacără oxiacetilenică, precum și faptului că unele dintre oțelurile folosite la țevile supraîncălzitoarelor se sudează extrem de dificil cu flacără oxiacetilenică, s-a căutat o metodă de sudare mai adecvată pentru formarea rădăcinii sudurii.

Metoda de sudare cu arc în mediu de argon (argon-arc) folosind electrod nefuzibil de wolfram (metoda MIG) s-a dovedit a fi cea mai potrivită pentru formarea rădăcinii sudurii. La țevile suprafețelor de încălzire, pregătirea îmbinărilor pentru sudare cu această metodă se execută conform figurii 1, ca și pentru sudarea cu flacără oxiacetilenică. La metoda MIG, ca și la sudarea autogenă, sudorul are într-o mînă sursa de căldură și în cealaltă mînă metalul de adaos, fapt care ușurează mult topirea succesivă a muchiilor țevilor și a sîrmei de sudură și depunerea în mod uniform a primului strat pentru formarea rădăcinii sudurii.

Fiind astfel formată rădăcina îmbinării, sudarea poate fi continuată și terminată prin metoda clasică de sudare electrică cu electrozi înveliți. În cazul țevilor subțiri, avînd grosimea peretelui sub 4 mm, este avantajos să fie depus și al doilea strat pentru terminarea sudurii tot prin metoda argon-arc, ca la primul strat.

De asemenea, se sudează întreaga îmbinare prin metoda argon-arc în cazul țevilor din oțeluri greu sudabile sau din aliaje speciale.

Metoda de sudare în mediu de argon a fost dezvoltată inițial pentru îmbinarea aliajelor de aluminiu și magneziu, a aliajelor titanului, a cuprului, precum și a oțelurilor aliate greu sudabile.

Datorită avantajelor pe care le prezintă din punctul de vedere al proprietăților îmbinărilor sudate, această metodă se aplică pe scară din ce în ce mai largă. Domeniul de aplicare a acestei metode este totuși îngustat de faptul că are productivitate relativ scăzută, mai ales în cazul sudării grosimilor mai mari, și un preț de cost relativ ridicat. Pentru mărirea productivității, sudarea prin această metodă a fost automatizată, mai ales în industrie ; în lucrările de montaj, automatizarea are aplicare redusă, țevile suprafețelor de încălzire fiind asamblate în pachete.

Realizări importante s-au obținut în domeniul controlului sudurilor. La început, s-au prelevat 2% din sudurile executate, care au fost încercate prin metode distructive. Prin aceste metode însă nu se controla de fapt calitatea tuturor sudurilor executate, ci se verifica mai mult îndemînarea sudorului și dacă tehnologiile de sudare și tratament termic erau bine aplicate

sau nu şi, prin analogie, se putea presupune că şi celelalte suduri executate de acelaşi sudor, în condiţii identice, au aceleaşi proprietăţi mecanice. Rezultate mai bune se obţin prin metode nedistructive, metode care permit controlul unui mare număr de suduri fără să fie nevoie de prelevare de probe. Dintre metodele de control nedistructiv s-a folosit la început radiografierea cu raze gamma şi apoi raze X. Metoda de radiografiere fiind greoaie, costisitoare, iniţial s-a prescris controlul sudurilor numai în proporţie de 5—10%.

Controlînd îmbinările sudate, care sînt foarte numeroase la ţevile suprafeţelor de încălzire, s-a constatat că eficienţa acestui control, numai într-un procentaj atît de mic, este extrem de scăzută. În exploatarea cazanelor s-a observat că erau frecvente cazurile cînd îmbinările ţevilor suprafeţelor de încălzire au cedat datorită unor defecte interioare din sudură, cum sînt: fisuri, nepătrunderi, pori, incluziuni sau rădăcină incomplet sudată.

Mărirea procentului de control al sudurilor prin radiografiere s-a dovedit a fi nejudicioasă, din cauza costului ridicat şi a productivităţii scăzute.

Din aceste cauze, s-a căutat aplicarea unor metode cu productivitate suficient de mare, pentru a putea executa controlul sudurilor în proporţie de 100% şi fără ca prin aceasta să se ridice prea mult preţul de cost.

Aplicînd defectoscopia cu ultrasunete se poate realiza cu uşurinţă controlul în proporţie de 100% şi la sudurile ţevilor suprafeţelor de încălzire, metoda aceasta avînd o productivitate foarte mare şi preţul de cost mai scăzut decît în cazul defectoscopiei magnetografice. De asemenea, aparatura folosită la defectoscopia cu ultrasunete este mai simplă decît la defectoscopia magnetografică, la care — pentru imprimarea defectelor pe banda feromagnetică — este necesară o instalaţie de magnetizare a sudurii respective, care se alimentează de la o sursă de curent continuu, iar pentru interpretarea înregistrării de pe bandă este necesar un aparat electronic de complexitate similară, cu un defectoscop cu ultrasunete.

3. **Mecanizarea lucrărilor de montaj.** Una dintre căile prin care s-au obţinut realizări importante în domeniul montajului de centrale electrice a fost mecanizarea lucrărilor de montaj.

3.1. *Marea mecanizare.* Adoptarea soluţiilor tehnologice de montare a cazanelor de abur şi a altor echipamente energetice în blocuri preasamblate a impus dotarea întreprinderii de montaj cu utilaje de ridicat şi transportat cu caracteristici corespunzătoare.

Astfel, platformele de preasamblare au fost dotate cu macarale-capră de 50 tf × 42 m şi 30 (25) tf × 32 m. Ca urmare a creşterii numărului de macarale necesare şi pentru reducerea importului de macarale, Întreprinderea Energomontaj a proiectat şi Uzinele Reşiţa au executat macaralele-capră de 30 tf × 32 m.

Ridicarea blocurilor de cazan, echipament auxiliar sau echipament hidromecanic la locul de montaj, se face cu macarale-turn de mare capacitate de tipul BK 1000, BK 600 şi BK 300.

În ultima vreme întreprinderea de montaj a fost dotată cu automacarale de 34 tf şi 67 tf pentru manevrarea pieselor unicate.

În sala maşinilor centralelor termoelectrice, montarea echipamentului se face cu podurile rulante, care se folosesc şi pentru reparaţii şi revizii. Cele mai mari poduri folosite pînă în prezent sînt de 100 tf × 42 m deschidere. Uneori, două asemenea poduri se cuplează între ele pentru a ridica sarcini de 200 tf.

La acest capitol trebuie să menţionăm faptul că pentru ridicarea pe fundaţie a statoarelor generatoarelor şi pentru ridicarea tamburilor cazanelor de abur s-au folosit utilaje şi dispozitive de mare capacitate de ridicare, unele din ele proiectate şi realizate de Întreprinderea Energomontaj.

Astfel, pentru ridicarea statorului generatorului grupului de 315 MW de la CET Craiova, în greutate de 210 tf, s-a adaptat dispozitivul de ridicat statoare, fabricaţie R.S.C., prin supraînălţarea lui şi reproiectarea grinzii de ridicare. Pentru ridicarea statoarelor grupurilor de 200 MW de la CET Borzeşti, în greutate de 150 tf, s-a proiectat o soluţie folosind două poduri rulante de 50 tf.

La centralele hidroelectrice, mecanizarea lucrărilor de montaj s-a bazat în special pe podurile rulante din centrală, care au deservit montajul hidroagregatelor, iar pentru montajul altor echipamente s-au folosit trolii electrice de 3—5 tf, macarale speciale de montaj, macarale de betonare, precum şi mecanismele de acţionare ale diferitelor echipamente.

Pentru mecanizarea platformelor de confecţii sau a depozitelor de materiale se folosesc macarale de tipul turn MT 40 (Bocşa) sau capră 5 tf × 20 m (IAUPS).

3.2. *Mica mecanizare.* Deşi mai puţin dezvoltată decît marea mecanizare, mica mecanizare a cunoscut un progres simţitor de-a lungul celor 20 de ani de montaj de centrale electrice. S-a căutat să se mecanizeze în primul rînd lucrările cu volum mare, cele care cer un efort deosebit din partea muncitorilor şi cele care impun mecanizarea pentru obţinerea unei calităţi corespunzătoare.

Numărul tipurilor de astfel de utilaje de mică mecanizare (în afară de scule) trece de 3000, aşa încît le vom menţiona pe cele mai reprezentative:

a) dispozitive de tăiat şi şanfrenat ţevi, cu flacără şi prin aşchiere;

b) dispozitive de centrat și apropiat țevi;

c) mufe cuptor și arzătoare pentru tratamentul termic al sudurilor;

d) dispozitive de îndoit țevi la rece și la cald;

e) aparate pentru mandrinarea țevilor de condensator;

f) dispozitive de îndoit bare pe cant și pe lat;

g) cărucioare de diverse capacități pentru transportul pieselor și materialelor;

h) utilaje de ridicat (macarale Rach, Erdir, Tirfor etc.);

i) polizoare de turație mare, cu disc de fibră.

Cu toate realizările obținute în domeniul micii mecanizări, acesta este rămas în urmă față de celelalte domenii tratate în articolul de față și asupra lui trebuie îndreptată atenția în viitor.

4. **Organizări de șantier.** În domeniul organizării de șantier s-au făcut însemnate progrese. Proiectele de organizare de șantier, faza I, în care se indică zonele disponibile pentru șantierul de montaj, sînt supuse unui studiu sistematic, cu luarea în considerare a mai multor variante și cu alegerea variantei optime din punctul de vedere al comunicațiilor celor mai scurte și directe, al rețelelor de energie (electrică), gaze, oxigen, acetilenă, aer comprimat, cele mai scurte, al transporturilor minime și al evitării manipulărilor. De fapt, se realizează un flux tehnologic mecanizat de la descărcarea din vagoane și pînă la montarea propriu-zisă.

S-au introdus obiecte de organizare de șantier demontabile (bărăci din tablă ondulată, bărăci tip șefi de echipă, stații centralizate de distribuție a oxigenului și a acetilenei etc.). La șantierele mari există fabrici mobile de producere a oxigenului (Porțile de Fier).

Obiectivele de organizare de șantier se proiectează în cadrul organizației de montaj, dîndu-se o deosebită importanță tipizării proiectelor și refolosirii acestora.

5. **Organizarea științifică a producției și a muncii.** În domeniul organizării conducerii șantierelor s-au realizat următoarele:

— S-a întocmit o nomogramă pentru stabilirea personalului tehnico-administrativ al șantierului, în funcție de valoarea de plan trimestrială (corectată cu o serie de indici de influență) și de dispersarea lucrărilor șantierului. Un șantier ca CTE Deva, care se organizează cu circa 130—140 salariați tehnico-administrativi, are în prezent 105 salariați.

— S-a normat numărul minim de muncitori pe șefi de echipă și numărul minim de echipe pentru maiștri.

— S-a elaborat o schemă funcțională tip pentru șantiere.

— S-a trecut parțial la contabilitatea mecanizată pe șantiere (la șantierele București-Panduri și București-Sud contabilitatea materialelor se efectuează la stația de mecanizare a IDEB.

— Principiul de organizare (ideea princeps) a montajului centralelor constă în asigurarea de către întreprindere a funcțiilor de planificare, asigurarea condițiilor tehnico-materiale (pregătirea și asigurarea producției), de concepție și financiar-contabilă, lăsînd la șantiere funcțiile de producție și conducerea directă a producției; în rezumat, conducerea activității de montaj se face cu un mare grad de centralizare.

— Conducerea procesului de producție se face prin metoda drumului critic, în cadrul termenelor limită stabilite de harmonograme generale ale lucrărilor. Aceste harmonograme se întocmesc pe principiile metodei drumului critic, pentru a se ține seama de interpenetrațiile proceselor, în special la frontiere (proiecte-montaj, construcții-montaj etc.).

În ceea ce privește organizarea locului de muncă, în cursul anului 1968, pe șantierele de montaj, s-au efectuat un număr de studii cu aplicare imediată.

Concluzii. Realizările obținute în activitatea de montaj a centralelor electrice se reflectă în creșterea potențialului energetic al țării noastre. Prin activitatea susținută care s-a depus de toți factorii care concură la realizarea unei centrale electrice s-a reușit ca producția de energie electrică să satisfacă necesitățile consumatorilor mereu crescînde, de la 250 kWh/locuitor în 1955, la 1284 kWh/locuitor în 1967.

— o —

Stadiul actual al proiectării părții electrice a centralelor și stațiilor și a liniilor de înaltă tensiune din R. S. România

Dr. ing. **P. Militaru**, ing. **M. Nistor**, ing. **C. Petrescu**, ing. **M. Vintilescu**, ing. **D. Voinea**

Dezvoltarea proiectării părții electrice a centralelor și stațiilor și a liniilor de înaltă tensiune în țara noastră, atît din punctul de vedere al volumului de proiectare, cît și al complexității instalațiilor de proiectare, a urmărit și a precedat dezvoltarea electrificării din țara noastră. Cîteva jaloane pot da o imagine a acestei dezvoltări. De la o singură linie de 110 kV în lungime de 127 km, în 1950, s-a ajuns, în 1967, la 5 920 km de linii de 110 kV și 2062 km de linii de 220 și 400 kV. Puterile instalate în centrale electrice au crescut de la 740 MW în 1950 la 5020 MW în 1967, iar producția de energie electrică de 2113 GWh în 1950 a atins 24 769 GWh în 1967. La sfîrșitul anului 1968 erau în funcțiune o stație de 400 kV, 25 stații de 220 kV și 185 stații de 110 kV*), iar puterile instalate în transformatoarele acestor stații erau de 10 700 MVA.

Proiectarea stațiilor de conexiuni și transformare și a liniilor de înaltă tensiune s-a asigurat integral în țară : pînă în anul 1960 numai de către Institutul de studii și proiectări energetice (ISPE), din București, iar ulterior și de alte institute de proiectare, precum și de unități specializate din cadrul întreprinderilor de exploatare și de construcții-montaj.

În 1949, anul înființării institutului, s-a început proiectarea liniilor de 110 kV. Cele dintîi stații din cadrul planului de electrificare au fost realizate în anul 1950 și aveau tensiunea cea mai înaltă 35 kV. Un an mai tîrziu, au fost elaborate proiectele și a început execuția primelor stații de 110 kV. Trecerea la proiectarea liniilor și stațiilor cu tensiuni superioare de 220 kV și 400 kV a avut loc începînd cu anul 1960.

Proiectarea părții electrice a centralelor termoelectrice în intervalul 1949—1969 a cunoscut de asemenea o evoluție puternic ascendentă. Primele centrale electrice realizate după 1950 au utilizat proiecte importate de la furnizorii de echipamente din Uniunea Sovietică sau R. S. Cehoslovacă. Începînd cu anul 1954 institutul a avut o participare din ce în ce mai largă la elaborarea proiectelor părții electrice a centralelor. Începînd din 1957 institutul a elaborat proiecte de centrale cu grupuri de 50 MW, din 1962 grupuri de 60 MW, din 1965 grupuri de 100 MW. În prezent, institutul este organizat să proiecteze părțile electrice ale centralelor cu grupuri pînă la 330 MW și se prevede ca în 1975 să se treacă la proiecte de centrale cu grupuri de 600 MW. În tabela 1 se prezintă cele mai importante centrale termoelectrice, cu caracteristicile principale ale părții electrice proiectate de institut.

1 Schemele conexiunilor de înaltă tensiune ale centralelor și stațiilor

La centralele de condensație cu grupuri de puteri unitare de 12—50 MW, cu două tensiuni de distribuție, proiectate pînă în 1954, s-a adoptat o schemă cu dublu sistem de bare, prevăzîndu-se secționarea și limitarea puterilor de scurtcircuit pînă la 200 MVA la 6 kV, prin bobine de reactanță pe secțiile de bare și pe fideri.

Centralele proiectate după 1954, atît cele de pură condensație de sistem, cu puteri unitare de 50—200 MW și puteri instalate de 250—800 MW, cît și cele de termoficare și de sistem, cu puteri unitare de 25—315 MW și puteri instalate de 170—1000 MW, au două și trei tensiuni de distribuție. Centralele de termoficare, industriale, cu puteri unitare de 3—12 MW și puteri instalate de 6—24 MW, au două tensiuni de distribuție.

La un număr de centrale, pentru alimentarea permanentă a barelor la două tensiuni diferite, s-au prevăzut transformatoare cu trei înfășurări, avînd puteri nominale de 31,5 ; 63 și 75 MVA.

Acolo unde nu s-au putut procura transformatoare cu trei înfășurări, sau unde utilizarea înfășurării terțiare a autotransformatoarelor nu era indicată pentru legarea generatoarelor, s-a adoptat pentru legătura între barele de 220 și 110 kV autotransformatoare monofazate sau trifazate, cu reglajul tensiunii sub sarcină la 220 kV. Această soluție de legare a barelor de tensiune foarte înaltă prin autotransformatoare s-a generalizat actualmente pentru perechile de tensiuni 220 și 110 kV, respectiv 400 și 220 kV.

La centralele de puteri mari unitare și instalate, cu stații la tensiunea generatoarelor, s-a adoptat un număr de una, două sau trei secțiuni, în funcție de numărul grupurilor racordate, a numărului de fideri și de schema consumatorului. Astfel, la CET Borzești, stația de 6 kV a celor trei grupuri de 25 MW are două secționări cu cuple longitudinale cu reactor, la CET București-Sud, stația de 10 kV are trei secționări fără cuple, iar la CET Oradea, o secționare cu cuple longitudinale cu reactor.

La centralele cu tensiuni superioare de transport și distribuție s-a adoptat schema bloc generator-transformator. Dacă la primele centrale existau legături transversale și pe partea tehnologică (apă, abur), actualmente blocul are astfel de legături numai la bara de înaltă sau foarte înaltă tensiune. La CET Rovinari această bară se găsește la circa 15 km de centrală.

Începînd cu grupurile de 100 MW de la CET Luduș, s-a suprimat aparatajul de comutație dintre generator și transformatoarele blocului. Această soluție este actualmente generalizată la toate grupurile în montaj bloc de 50—330 MW, legăturile fiind izolate pe fază pentru evitarea scurtcircuitelor.

La centralele industriale mici, conform mărimii și importanței lor, s-a stabilit soluția cu bare simple secționate sau duble la tensiunea de 6 kV,în unele cazuri realizate cu celule prefabricate, ca și secțiile de servicii proprii.

În figura 1 se prezintă cîteva scheme de principiu ale unor centrale termoelectrice proiectate de I.S.P.E.

În marea majoritate a cazurilor la stații s-au folosit scheme de conexiuni primare cu bare colectoare (bare simple sau duble cu sau fără bare de transfer), datorită avantajelor de elasticitate în adaptarea la cele mai variate regimuri de funcționare și de posibilitatea de dezvoltare fără dificultăți a instalațiilor. Schemele fără bare colectoare, deși au constituit în trecut excepții, multe din ele trebuind să fie ulterior transformate în conexiuni cu bare, încep să fie din nou utilizate — mai ales la tensiunea de 110 kV — în stațiile de racord adînc, care deservesc consumatori industriali concentrați, și la unele stații simple de injecție în rețele de medie tensiune (6 ... 20 kV).

Structura schemelor cu bare colectoare adoptate prezintă unele particularități, dintre care se menționează :

a) limitarea numărului de transformatoare sau de autotransformatoare la 2 unități pe stație. Puterea fiecărei unități corespunde la 60 ... 100% din valoarea transferului maxim între tensiunile respective. În timp ce în trecut transformatoarele cu trei înfășurări au fost mult folosite, în prezent utilizarea lor s-a restrîns considerabil ;

b) limitarea numărului de întreruptoare la 1 pe circuit primar la toate tensiunile. O singură excepție s-a făcut prin legarea cu două întreruptoare pe circuit a grupurilor de 315 MW la barele de 220 kV ale centralei Craiova ;

c) amplasarea transformatoarelor de curent între întreruptor și separatorul de linie, exceptînd celulele capsulate de medie tensiune, unde, din motive constructive,

*) Pentru stații cu mai multe tensiuni s-a luat în considerare tensiunea superioară.

se preferă dispunerea lor după separator („broşe"), şi anumite instalaţii de 110 kV şi 220 kV, la care prezintă interes menţinerea instalaţiei proprii de protecţie prin relee în cazul înlocuirii celulei respective prin celula cuplei de transfer (de exemplu, la celulele transformatoarelor) ;

d) racordarea transformatoarelor pentru măsura tensiunii la barele colectoare (seturi de 3 unităţi), iar pentru controlul tensiunii şi sincronizare la linii (1 unitate) după separatorul de linie, în instalaţiile pînă la 110 kV inclusiv. La 220 kV şi 400 kV transformatoarele de tensiune pentru măsură, control, sincronizare se instalează numai pe linii (seturi de 3 unităţi de tip capacitiv, prin care se asigură şi cuplajul telefoniei de înaltă frecvenţă) ;

e) folosirea de dispozitive (cuţite de separator) pentru realizarea legării la pămînt a unei părţi din instalaţie : pe fiecare linie la toate instalaţiile, pe fiecare sistem de bare la 110 kV, 220 kV şi 400 kV, pe fiecare porţiune într-un circuit, cuprinsă între două separatoare la 220 kV şi 400 kV.

Tipurile de conexiuni de înaltă tensiune folosite actualmente în proiectele de staţii sînt indicate în tabela 2.

Tabela 2

Tipul conexiunii	Tensiunea nominală a instalaţiei, kV				
	6—10	20	110	220	400
Blocuri	nu	nu	da	da	da
Bare simple	da	da	nu	nu	nu
Bare simple secţionate	da	da	da	nu	nu
Bare duble	da	da	da	nu	nu
Bare duble secţionate	da	nu	da	nu	nu
Bare duble şi bare de transfer *)	nu	nu	da	da	da
Bare duble secţionate şi bare de transfer	nu	nu	da	nu	nu

*) Una din barele colectoare poate îndeplini şi funcţia de bară de transfer.

Nivelele de scurtcircuit, pentru care se dimensionează în prezent instalaţiile de diferite tensiuni, sînt cele din tabela 3.

Tabela 3

Tensiunea, kV	Puterea de scurtcircuit, MVA
6	250 — 500 — 800
10	400 — 800 — 1200
20	500
110	3500 (3000) — 6000
220	12000
400	20000

2. Echipamentul şi soluţiile constructive ale centralelor şi staţiilor

Pînă la asimilarea în ţară a echipamentului electromecanic necesar, staţiile au fost dotate cu aparate din import, de diferite proveniente, dar în special din Uniunea Sovietică şi Cehoslovacia. După anul 1956 s-a putut procura din ţară cea mai mare parte a echipamentului de înaltă tensiune, pînă la 110 kV inclusiv. Din 1966 a început fabricarea la uzinele „Electroputere" din Craiova a echipamentului de 220 kV, iar primele aparate de 400 kV urmează a fi livrate de aceleaşi uzine în anul 1970.

În tabela 4 sînt indicate tipurile echipamentelor folosite actualmente în staţiile electrice de diferite tensiuni.

La centrale, echipamentul electroenergetic furnizat atît de firmele tradiţionale din U.R.S.S. şi R.S.C., cît şi acela provenit de la firmele din R.F.G., Franţa prezintă o sumă de caracteristici electromecanice, funcţionale şi constructive deosebite. (De exemplu, generatoarele de 60 şi 100 MW au răcire indirectă cu hidrogen, acelea de 200 şi 315 MW au răcire directă cu apă în stator şi cu hidrogen în rotor ; excitatricele sînt cu

Tabela 4

Tipurile aparatelor folosite în staţiile electrice

Denumirea aparatelor	Tensiunea nominală a instalaţiei, kV			
	6 – 20	110	220	400
Întreruptoare	ulei puţin acţionare: pneumatică, resort	ulei puţin acţionare: pneumatică, oleopneumatică	ulei puţin acţionare: oleopneumatică	ulei puţin acţionare: oleopneumatică
Separatoare	rotativ (plan vertical) acţionare: manuală, pneumatică	rotativ (plan orizontal) acţionare: manuală, motor, pneumatică	rotativ (plan orizontal) acţionare: manuală, motor, pneumatică	rotativ (plan vertical) acţionare: manuală, motor, pneumatică
Reductoare de curent	2 miezuri izolaţie: răşini sintetice	2 sau 3 miezuri izolaţie: porţelan (în exterior) sau răşini sintetice (în clădiri)	4 miezuri izolaţie: porţelan	4 miezuri izolaţie: porţelan
Reductoare de tensiune	inductiv	inductiv sau capacitiv	capacitiv	capacitiv
Descărcătoare	cu rezistenţă variabilă	cu rezistenţă variabilă	cu rezistenţă variabilă şi suflaj magnetic	cu rezistenţă variabilă şi suflaj magnetic

curent alternativ redresat, reglajul de tensiune cu amplificatori magnetici, tiristori.)

Ponderea aparatajului fabricat de industria noastră electrotehnică pentru realizarea centralelor electrice a crescut simțitor, în special în ultimii 10 ani. Astfel, de la generatoare de 3 și 4 MW cu tensiunea de 6 kV s-a trecut la acelea de 6 și 12 MW—6 kV, apoi la 60 MW—10,5 kV, ajungîndu-se azi la asimilarea turbogeneratoarelor de 330 MW—24 kV. Fabricația de transformatoare a urmat același drum ascendent, în prezent fiind în curs de realizare unități trifazate de 80 și 125 MVA—10,5/131 kV și în curs de asimilare acelea de 240 MVA—15/242 kV, caracteristicile oferite — pierderi în fier, greutate specifică kg/kVA — fiind apropiate de cele mai bune realizări pe plan mondial.

Stațiile de servicii proprii, realizate la început din celule zidite, se prevăd actualmente cu celule prefabricate închise, echipate integral cu aparataj din țară, de 200 și 250 MVA plafon de scurtcircuit.

Pentru tablourile de distribuție, realizate din panouri tip deschis și dulapuri clasice, se prevede actualmente asimilarea dulapurilor cu sertare debroșabile.

Caracteristicile principale ale soluțiilor constructive folosite în prezent sînt următoarele :

a) amplasarea în interiorul clădirilor a instalațiilor de medie tensiune 6—20 kV și, de regulă, în exterior a instalațiilor de înaltă și foarte înaltă tensiune : 110—220—400 kV. (În ultima perioadă, necesitatea instalării în interior a stațiilor de 110 kV a apărut cu o frecvență mai mare decît în trecut, în legătură cu dezvoltarea rețelelor de distribuție urbană și cu accentuarea poluării atmosferice în zonele industriale.) ;

b) gradul ridicat de prefabricare a construcțiilor și montajului ;

c) dispoziția semiînaltă cu 2 (în mod excepțional 3) planuri de tensiune, la stațiile de tip exterior, și cu un număr redus de nivele (1 sau 2), la stațiile de tip interior ;

d) limitarea consumului de oțel la elementele pentru susținerea căilor de curent și aparatelor din instalațiile

Tabela 5

Tensiunea nominală a instalației, kV	Locul de montaj	Tipul constructiv	Număr de nivele (în interior) sau număr de planuri de tensiune (în exterior)	Pasul celular, m	Spațiul ocupat de celula de linie [1]
6...20	clădiri	celule deschise [2]	1 [3]	1,25 [3]	11 m³ [3]
	cabine metalice în exterior		2 [4]	2,50 [4]	9...14 m³ [4]
			1 [3]	1,30 [3]	69 m³ [3]
110	exterior	cadre centrale	3	8	115...168 m²
		tandem longitudinal	2	9	324 m²
	interior	hală	2	6	720 m³
220	exterior	tandem longitudinal	2	17	1380 m²
400	exterior	tandem transversal	2(3)	22	3000 m²

[1]) Se referă la suprafețe în cazul stațiilor exterioare și la volume în cazul stațiilor interioare. Suprafețele s-au calculat între faza externă a barelor colectoare și ultimul aparat din celulă, iar pentru volume s-a luat în considerare spațiul delimitat de pereții celulei și de planșeul superior și inferior.

[2]) Se folosesc și celule de tip închis la 6—10 kV pentru grupul de 2...3 plecări racordate în serie cu o bobină de reactanță. Pasul lor e de 1 m.

[3]) Se referă la stații cu bobine de reactanță pe linii (volumul s-a calculat pentru un grup de 2 linii racordate la o bobină).

[4]) Se referă la stații cu bobine de reactanță pe linii (volumul s-a calculat pentru un grup de 2 linii racordate la o bobină).

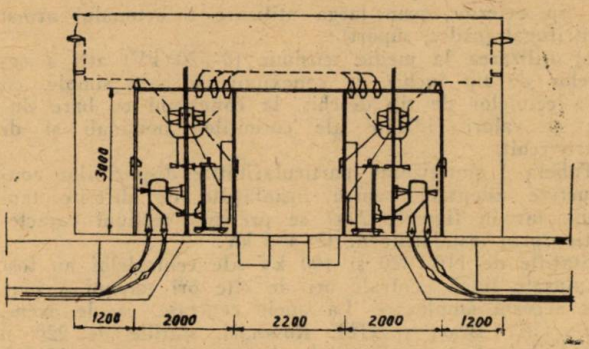


Fig.2. Stație 6—20 kV fără bobine de reactanță (pasul = 1,25 m)

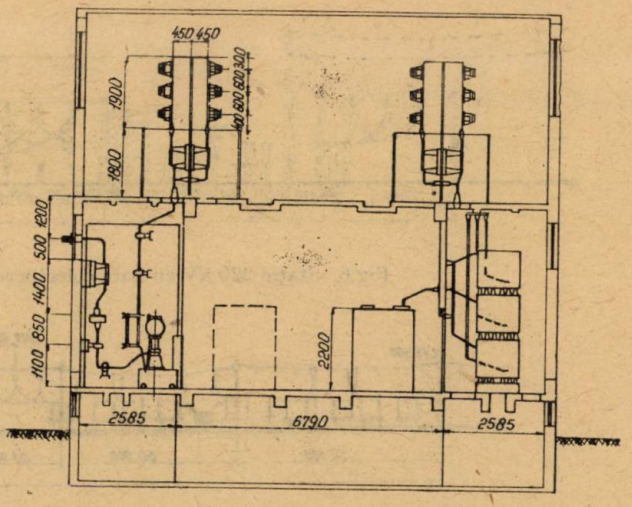


Fig.3. Stație 6—10 kV cu bobine de reactanță pe grupe de linii (pasul=2,5 m).

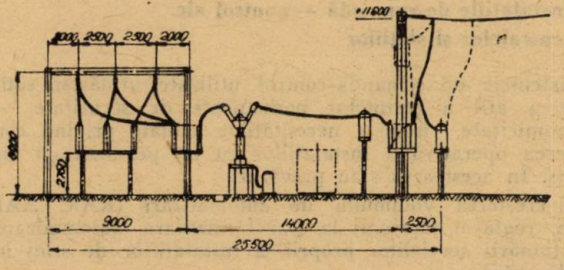


Fig.4. Stație 110 kV cu sistem simplu de bare colectoare secționat (pasul = 8 m)

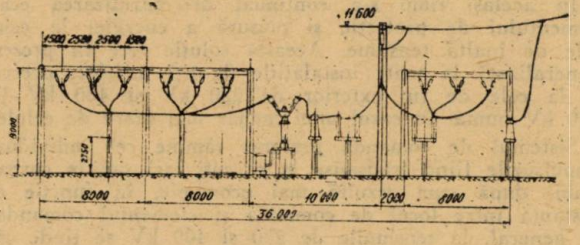


Fig.5. Stație 110 kV cu sistem dublu de bare colectoare (pasul = 9 m).

de tip exterior, prin larga utilizare a betonului armat centrifugat (cadre, suport) ;

e) utilizarea la medie tensiune (6—20 kV) atît a celulelor de tip închis, la conexiuni cu bare simple, cît şi a celulelor de tip deschis, la conexiuni cu bare duble şi valori ridicate ale curenţilor nominali şi de scurtcircuit.

Tabela 5 sintetizează particularităţile dispoziţiilor constructive adoptate pentru instalaţiile de diferite tensiuni, iar în figurile 2—7 se prezintă secţiuni caracteristice prin instalaţiile de 6—400 kV.

Staţiile de 110, 220 şi 400 kV ale centralelor au fost amplasate lîngă centrale ori de cîte ori terenul a permis această amplasare. La unele centrale, ca de exemplu : CET Brazi şi CTE Rovinari, staţiile de 220 şi 400 kV au fost amplasate la distanţe între 4 şi 15 km de centrală, soluţie impusă de condiţii de spaţiu de amplasare, de asigurarea unei dispoziţii degajate pentru liniile aeriene sau de evitarea zonei poluate din jurul centralei.

Telecomanda staţiilor de la puncte de exploatare cu personal permanent a fost prevăzută la un număr important de staţii, inclusiv la instalaţii de foarte înaltă tensiune, 220 kV şi 400 kV.

Tratarea circuitelor secundare în centralele termoelectrice s-a făcut în strînsă legătură cu partea tehnologică. De la camerele de comandă unificate pentru generatoare, servicii proprii, staţii de distribuţie, soluţie corespunzătoare centralelor cu bare colectoare de abur şi apă, s-a trecut la organizarea pe blocuri cu grad din ce în ce mai pronunţat de independenţă, corespunzător căreia s-au prevăzut camere de bloc — de regulă cîte una la o pereche de blocuri —, o cameră de dispecer comună şi o cameră electrică pentru staţii. Aceasta a condus la mărirea volumului de legături reciproce între tipurile de camere de comandă create şi la introducerea telemecanizării în cazul staţiilor de distribuţie amplasate departe de centrală.

Dotarea camerelor de comandă a urmat evoluţia cunoscută la alte instalaţii, de la dispoziţii largi, cu apa-

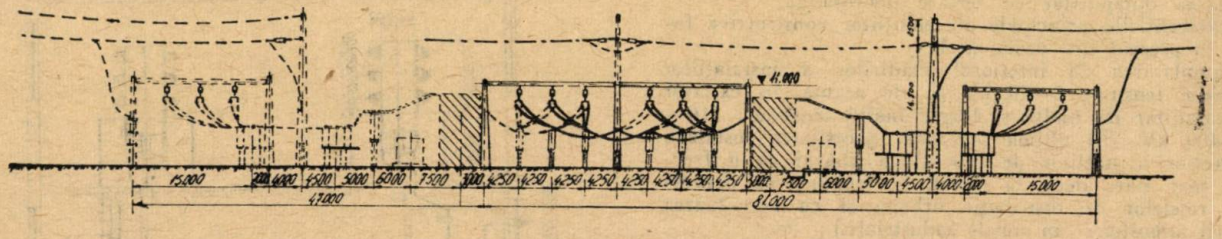


Fig.6. Staţie 220 kV cu bare colectoare duble şi bară de transfer (pasul = 17 m).

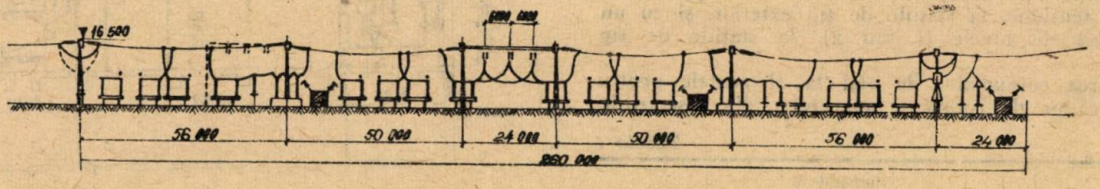


Fig.7. Staţie 400 kV cu bare colectoare duble şi bară de transfer (pasul = 22 m).

3. Instalaţiile de comandă — control ale centralelor şi staţiilor

Sistemele de comandă-control utilizate urmăresc satisfacerea atît a cerinţelor permanente de securitate şi economicitate, cît şi a necesităţilor actuale privind conducerea operativă a instalaţiilor cu un personal cît mai redus. În acest sens s-au prevăzut :

a) creşterea volumului de automatizări (RAR, AAR, DAS, reglajul tensiunii la transformatoare, automatizarea funcţionării serviciilor proprii, a instalaţiilor de stins incendiu etc.) ;

b) creşterea numărului de mărimi şi evenimente înregistrate cu ajutorul aparatelor de măsură înregistratoare, osciloperturbografelor, înregistratoarelor de manevră.

În acelaşi timp s-a continuat descentralizarea echipamentului de protecţie şi măsură a energiei la celulele de înaltă tensiune. Această soluţie este în prezent generalizată la toate instalaţiile de tip interior, precum şi la cele de tip exterior de 220 kV şi 400 kV (la 110 kV numai în cazul unui număr mai mare de celule).

Sistemul de comandă preferat rămîne cel individual, impulsurile fiind transmise în curenţi tari sau în curenţi slabi, după cum rezultă mai economic, în funcţie de distanţa între locul de comandă şi elementul comandat. În general, la tensiunile de 220 şi 400 kV se tinde către o generalizare a sistemelor de comandă cu treaptă intermediară de tensiune.

rate de măsură şi comandă de format mare, la compactarea circuitelor, cu utilizarea de aparate miniatură. În ultimii ani s-a trecut la prefabricarea pupitrelor şi panourilor echipate cu elemente unificate UNIMOD, iar mai recent la introducerea comutaţiei statice cu utilizarea elementelor logice UNILOG.

4. Serviciile proprii, instalaţiile auxiliare şi amenajările centralelor şi staţiilor

Funcţionarea corectă a serviciilor proprii de la centrale şi staţii determină în mod hotărîtor siguranţa de funcţionare a centralelor şi staţiilor ; de aceea s-a acordat o mare atenţie alegerii schemelor şi echipamentului acestor instalaţii.

Schema cu alimentarea serviciilor proprii de la barele principale ale centralei s-a păstrat numai pentru centralele cu bare de distribuţie la tensiunea generatoarelor. La centralele industriale cu bare principale simple, consumatorii de servicii proprii — în număr redus — se alimentează direct de la aceste bare, astfel că staţiile de distribuţie la tensiunea generatoarelor se confundă cu acelea de servicii proprii. La centralele cu bare principale avînd un plafon ridicat de scurtcircuit şi un număr mare de receptoare, la tensiunea barei principale, se prevăd secţii de servicii proprii alimentate prin fideri simpli cu reactoare sau transformatoare de la barele de distribuţie. De regulă, barele principale constituie sursa de alimentare normală şi de rezervă a secţiilor de servicii proprii.

La centralele cu schemă bloc generator—transformator, soluția adoptată inițial, cu alimentarea normală a serviciilor proprii cu derivație de la bornele generatorului prin transformator sau reactor pentru primele unități de 12, 20, 25 și 50 MW, s-a menținut și la blocurile de 60—330 MW, indiferent că acestea se montează într-o centrală de condensație sau de termoficare.

Soluția foarte frecventă pe plan mondial, fără aparataj de comutație la borne, impune o sursă de pornire și de oprire pentru bloc, care de regulă este aceeași cu sursa de rezervă, iar uneori aceeași cu sursa de alimentare a serviciilor generale.

Numărul secțiilor de alimentare a serviciilor proprii a fost stabilit egal cu al cazanelor (la centralele cu bare colectoare tehnologice și la tensiunea generatoarelor) și cu al blocurilor (la centralele cu blocuri cazan—turbină—generator—transformator). Pentru grupurile de puteri mari sau de importanță deosebită (producere de energie electrică și termică) se prevăd două secții pe grup, pentru a se putea funcționa cu 50—60% sarcină la pierderea unei secții.

Serviciile proprii generale, repartizate la centrale mai vechi pe secțiile grupurilor, se prevăd în ultimii ani cu alimentare de la o stație separată. În majoritatea cazurilor această stație servește și pentru legarea alimentărilor de rezervă, de pornire și oprire.

Alimentarea stației generale, ca și a secției de rezervă, se face de regulă din rețeaua de 110 kV și mai rar din rețeaua de 220 kV. Fiecare transformator de rețea trebuie să asigure concomitent serviciile proprii ale unui bloc la sarcină nominală, pornirea altui bloc și oprirea celui de al treilea. Transformatoarele de alimentare a serviciilor generale și de rezervă, din sistem, sînt prevăzute cu reglaj sub sarcină.

Pentru limitarea puterilor de scurtcircuit pe barele de 6 kV, la 200—250 MVA, s-au prevăzut la centralele cu grupuri de 200 MW și 315 MW transformatoare de lucru și de rezervă cu două înfășurări de 6 kV, sau cîte două transformatoare de lucru pe derivația de la generator.

În cazul grupurilor de 200 și 330 MW, cu un singur cazan pe bloc, cu turbopompă de alimentare și două electropompe de alimentare pentru 50% debit, plafonul de scurtcircuit de 200—250 MVA se poate păstra numai în anumite condiții restrictive, pentru a asigura autopornirea tuturor motoarelor principale considerate complet frînate. Pentru cazul ipotezelor aplicate la grupurile de 50—100 MW rezultă plafoane de scurtcircuit de peste 300 MVA.

Legăturile alimentărilor de rezervă la blocuri se fac prin fideri comuni la 2—3 blocuri. La două centrale electrice de termoficare, recent proiectate, s-au prevăzut alimentări de rezervă individuale pe bloc, fără a interveni costuri suplimentare față de soluția uzuală.

Alimentarea consumatorilor de servicii proprii de curent alternativ din stațiile de transformare se asigură la tensiunea 380/220 V din două surse distincte. Acestea sînt fie racorduri de la barele de medie tensiune din instalații, fie, atunci cînd nu există astfel de bare, de la două rețele de medie tensiune. În cazuri extreme, la instalațiile de foarte înaltă tensiune, unul din racordurile de medie tensiune se înlocuiește cu un generator de casă (grup Diesel cu pornire rapidă și automată de circa 100—250 k%). Transformatoarele de servicii proprii — de regulă 2 unități — pot acoperi fiecare integral sarcina cerută și au puteri cuprinse între 50 și 630 kVA.

Curentul contituu operativ în centrale și stații, la tensiuni de 24, 48 sau 220 V, este asigurat prin redresoare statice, iar la întreruperea rețelei de curent alternativ de la o baterie de acumulatori. În funcție de mărimea sarcinii de curent continuu se instalează elemente de acumulatori cu plumb LS 1 ... LS 24. Indiferent de mărimea sau tensiunea stației, se prevede o singură baterie de acumulatori exploatată în regim tampon.

La centrale se prevăd, în funcție de puterea unitară și totală, numărul și mărimea tensiunilor de distribuție, de la o baterie pe centrală la o baterie de acumulatori pe bloc.

Aerul comprimat este folosit în majoritatea cazurilor pentru acționări, la presiunea de 4,5 at. Instalațiile de producere a aerului comprimat cuprind agregate motor electro-compresor cu un debit de 100 ... 700 l/minut și sînt complet atuomatizate. Introducerea pe scară largă a acționărilor cu motor electric la separatoare va restrînge considerabil în viitor folosirea aerului comprimat în stațiile electrice.

5. Concepția actuală a proiectării liniilor electrice aeriene de 110, 220 și 400 kV

Soluțiile constructive adoptate la liniile electrice, din 1949 și pînă în prezent, au ținut seama de toți factorii care contribuie la realizarea unor instalații corespunzătoare din punct de vedere tehnic și economic, și anume, de factorii general valabili pentru linii, cît și de cei specifici țării noastre.

Pentru echiparea liniilor electrice aeriene se utilizează exclusiv conductoare de oțel-aluminiu. Raportul între secțiunea de oțel și cea de aluminiu este de 1/6 ; în cazuri excepționale, impuse de teren sau de condițiile meteorologice, s-au adoptat și secțiuni întărite, la care acest raport este cuprins între 1/4 și 1/1.

În rețeaua de 110 kV, primele linii au fost echipate cu conductoare cu secțiunea de aluminiu de 150 mm². Creșterea puterilor de transport a impus în scurt timp trecerea la secțiunea de 185 mm², iar în ultimii ani la secțiunile de 240 și 300 mm².

Pentru liniile cu tensiuni de 220 kV și 400 kV, soluțiile adoptate sînt rezultatul unui studiu tehnico-economic, pe baza distanțelor de transport, a puterilor necesar de transportat în perspectivă, a pierderilor corona, a perturbațiilor radiofonice și țin seama, de asemenea, de necesitatea uniformizării secțiunii conductoarelor și armăturilor de linii. Concluziile acestui studiu au determinat adoptarea unui conductor de oțel-aluminiu avînd mantaua de aluminiu de 450 mm² secțiune și un raport între secțiunea de oțel și cea de aluminiu de 1/6 ; la liniile de tensiune de 220 kV se utilizează un singur conductor pe fază, iar la liniile de 400 kV două conductoare pe fază.

Liniile de 110, 220 și 400 kV realizate sînt echipate cu conductoare de protecție pe toată lungimea lor, cu excepția unor linii de 110 kV cu caracter experimental, sau în regiuni cu condiții meteorologice foarte grele la care protecția este realizată numai pe lungimi de circa 5 km la intrări în stații. Generalizarea montării conductorilor de protecție și la liniile de 110 kV a fost impusă atît de protecția contra supratensiunilor atmosferice, cît și de necesitatea diminuării tensiunii induse în liniile de telecomunicații. Secțiunile conductoarelor de protecție sînt determinate de condiții de rezistență mecanică ; în general sînt folosite secțiunile 50—70 mm² oțel la liniile de 110 kV și 70—90 mm² oțel la liniile de 220 și 400 kV.

Dezvoltarea sistemului energetic a condus la creșterea curenților de scurtcircuit monofazat în rețelele de 110, 220 și 400 kV, care funcționează toate cu neutrul legat direct la pămînt, ceea ce a avut ca urmare o mărire a influențelor perturbatoare asupra liniilor de telecomunicații și a solicitării termice la scurtcircuit a conductoarelor de protecție și a prizelor de pămînt de pe liniile de energie electrică. Pentru reducerea tensiunilor induse pe liniile de telecomunicații în caz de scurtcircuit pe liniile de energie și pentru a ține seama de solicitările termice respective, s-au adoptat pe unele porțiuni de linii de 110, 220 și 400 kV, în locul conductoarelor de protecție din oțel, conductoare din oțel-aluminiu, cu un raport între secțiunea de oțel și cea de aluminiu de 1/2 sau 1/1.

Exceptînd cîteva linii de 60 și 110 kV, construite înainte de anul 1955, pînă în anul 1967 practic toate liniile au fost echipate cu izolatoare tip capă și tijă din porțelan, fabricate în țară sau importate. Imposibilitatea depistării elementelor de izolatoare străpunse pe liniile în funcțiune a determinat, cu începere din anul 1967, montarea pe unele linii de 220 și 400 kV a elementelor tip tijă („Langstab"). Aceste tipuri de izolatoare pre-

zintă cazuri de rupere totală a lanțului, ceea ce a impus adoptarea lanțurilor duble și, deci, majorarea corespunzătoare a costurilor. Folosirea izolatorului tijă a fost în mod special justificată în zonele poluate și cu umiditate excesivă.

Soluțiile constructive adoptate pentru stîlpii liniilor electrice aeriene au urmărit, în afara respectării condițiilor tehnice impuse de prescripții, și economisirea de materiale care au o mare utilizare în alte domenii ale economiei naționale (oțel, lemn). Începînd chiar din anul 1950 a fost introdus pe scară din ce în ce mai mare betonul armat ca material de construcții pentru stîlpii liniilor electrice aeriene. Din studiile elaborate a rezultat însă că folosirea betonului armat este rațională din punct de vedere tehnico-economic la stîlpii liniilor de joasă tensiune, de 6—20 kV, de 35 și 110 kV. La liniile de 220 și 400 kV utilizarea betonului armat conduce la stîlpi de dimensiuni și greutăți mari, greu de manipulat, transportat și ridicat, și în ansamblu, la soluții neeconomice. Din aceleași considerente, stîlpii de întindere, colț și terminali ai liniilor de 35 și 110 kV se execută din metal.

Alegerea coronamentelor stîlpilor a avut la bază studii în care s-au luat în considerare atît elementele economice, cît și experiența de exploatare obținută atît în țara noastră, cît și în alte țări. Ca principiu de bază care s-a menținut în soluție experimentate în decursul anilor a fost acela de a accepta așezarea conductoarelor în planuri suprapuse numai pentru linii cu tensiuni de 110 kV și mai mici ; pentru tensiunile de 220 și 400 kV s-a adoptat de la început ca soluție unică așezarea conductoarelor în plan orizontal, dată fiind siguranța în exploatare oferită de această așezare, care evită atingerea conductoarelor provocată de încărcarea neuniformă cu chiciură, de saltul datorit descărcării chiciurii, de dansul conductoarelor etc. Excepție de la acest principiu sînt liniile de 220 kV cu dublu circuit, pentru care, în scopul evitării unei construcții spațiale de lățime prea mare, care necesită un culoar foarte larg (circa 32 m), s-a acceptat așezarea conductoarelor în hexagon. Rezultatele de exploatare obținute cu liniile construite, precum și studierea mai aprofundată a probabilității de atingere a conductoarelor în deschidere au permis îmbunătățirea continuă a așezării conductoarelor, prin adoptarea unor distanțe corespunzătoare pe orizontală între conductoarele suprapuse.

Soluțiile constructive, astăzi tipizate, au fost adoptate în urma unor studii tehnico-economice aprofundate.

La realizarea stîlpilor din beton armat centrifugat se utilizează beton B-400 și armături din oțel cu rezistența de rupere de 5200 kgf/cm². Sînt proiectați și experimentați stîlpii cu armătură pretensionată, urmînd ca ei să fie introduși în fabricație în serie în anul 1969.

Stîlpii metalici sînt realizați din corniere din oțel cu rezistența de rupere de 3800 kgf/cm² (limita elastică 2400 kgf/cm²). În cadrul proiectării s-a analizat introducerea oțelurilor cu rezistențe superioare pentru anumite elemente solicitate ale stîlpilor ; imposibilitatea controlului calității oțelului în structura stîlpilor, existînd posibilitatea confundării, în timpul execuției, a barelor de calități diferite, a determinat menținerea soluției cu o singură calitate de oțel.

Ca dimensiuni minime, cornierele folosite au raportul între grosimea și lățimea aripilor de 1/10 ; există în prezent preocuparea de a se introduce corniere cu aripi subțiri (raportul 1/15), în măsura în care producția de serie a acestor tipuri de profile va fi asigurată și pentru stîlpii liniilor electrice aeriene. Constructiv, stîlpii sînt confecționați în subansamble, barele unui subansamblu fiind îmbinate prin suduri. Introducerea cornierelor cu aripi subțiri va permite trecerea la stîlpi din bare bulonate fără a necesita practic un consum suplimentar de material.

Protecția părților metalice ale stîlpilor a fost asigurată pînă în prezent prin vopsire ; sînt în curs de proiectare și experimentare noi tipuri de stîlpi din bare zincate, introducerea parțială a acestora în linii începînd chiar din anul 1969.

Soluțiile constructive pentru fundațiile liniilor electrice aeriene au fost definitivate ținînd seama de solicitări, de posibilitățile de execuție și de specificul țării noastre în ceea ce privește amplasarea surselor de agregate (balast, nisip, apă). De la an la an construcția fundațiilor s-a simplificat, permițînd scăderea consumului de materiale și a costurilor. Pentru terenurile cu caracteristici normale (medii) soluțiile de fundare, general utilizate, sînt : la liniile de 110 și 220 kV fundații monolit turnate la fața locului, iar la liniile de 400 kV fundații prefabricate.

În prezent, dacă evoluția liniilor din punct de vedere tehnic este legată de necesitățile pe care aceste legături trebuie să le satisfacă în niște condiții impuse, perfecționarea lor este legată, pe de o parte, de îmbunătățirea materialelor utilizate, iar, pe de altă parte, de perfecționarea soluțiilor constructive prin proiectare. În acest scop, în permanent se fac studii de optimizare a soluțiilor pe baza noilor principii proprii statisticii matematice și teoriei probabilității, utilizîndu-se în mod curent mijloace moderne de calcul. Noile soluții, azi în fază de studiu, în următorii ani își vor găsi aplicarea în practică, după experimentările și încercările necesare.

Prin proiectele părții electrice a centralelor și stațiilor și de linii electrice elaborate, ISPE și-a dovedit capacitatea de a concepe lucrări la nivelul tehnicii mondiale, care să dea satisfacție în exploatare și să prezinte indici tehnico-economici favorabili. Proiectanții institutului trebuie să asigure și în viitor, prin proiectare, dezvoltarea sistemului energetic național și creșterea nivelului tehnic al instalațiilor proiectate.

Dat fiind rezultatele bune obținute de ISPE pînă în prezent, există certitudinea că proiecte de complexitate deosebită, ca părțile electrice ale centralelor nucleroelectrice, ale centralelor termoelectrice cu grupuri de 600 MW, liniile și stațiile de foarte înaltă tensiune cu echipament modern vor fi elaborate la nivel tehnic și economic corespunzător.

Calculul termic de verificare a turnurilor de răcire cu tiraj forțat, cu ajutorul mașinii electronice de calcul

Prof. dr. ing. **A. Radu-Cernea** *)

Pentru adaptarea proiectelor existente la alte condiții locale decît cele prevăzute inițial, sau pentru modificarea condițiilor de exploatare a unor turnuri de răcire cu tiraj forțat existente, este necesar de făcut un calcul de verificare.

Un asemenea calcul de verificare trebuie să conducă la trasarea unei diagrame a turnului de răcire care să permită determinarea temperaturii apei la ieșirea din turnul de răcire (t_2^*), pentru o anumită densitate de stropire (q) și un anumit interval de răcire (Δt), la o anumită temperatură (θ) și umiditate relativă (φ) ambiante.

Modificarea condițiilor ambiante, respectiv a temperaturii aerului și a umidității lui relative, nu prejudiciază calculului efectuat, deoarece, în final, se introduce o corecție care permite stabilirea temperaturii corectate (t_2) a apei răcite la ieșirea din turn, cunoscînd valoarea t_2^* determinată anterior și noile condiții ambiante. Această corecție se face cu ajutorul nomogramei din figura 1.

În esență, calculul termic de verificare a turnurilor de răcire cu tiraj forțat decurge prin repetarea unui calcul de dimensionare.

Se adoptă, în prealabil, un număr de valori pentru temperatura apei la ieșirea din turn (t_2'). (Pentru o bună precizie a interpolării, 3—5). În funcție de aceste valori se determină suprafețele de răcire (S') și se construiește curba $t_2'' = f(S')$. Intersecția curbei cu suprafața de răcire reală a turnului (S) indică pe diagramă temperatura apei răcite (t_2^*).

Calculul se reia pentru fiecare densitate de stropire și pentru fiecare valoare a intervalului de răcire Δt dorit (de exemplu, pentru zece valori în intervalul 4 — 30 grd).

Pentru o trasare a diagramei turnului de răcire, în tot domeniul posibil de funcționare, calculul trebuie reluat de:

$$N = 6_{(q)} \times 10_{(\Delta t)} \times 5_{(t_1)} = 300 \text{ ori.}$$

Desigur că se pot face unele simplificări, adoptîndu-se de pildă numai trei valori pentru densitatea de stropire (q) și trei valori pentru temperatura apei la intrare (t_1), și atunci calculul se reia numai de 60 de ori. Evident, însă, că aceasta va conduce la trasarea finală a curbelor numai prin trei puncte, care, în orice caz, micșorează gradul de precizie a rezultatului final.

În ipoteza unui calcul complet ($N = 300$), efectuarea calculelor, construirea diagramelor parțiale și a diagramei finale cer un volum de muncă apreciabil. În aceste condiții, utilizarea mașinii electronice de calcul răspunde unei cerințe privind economia de timp.

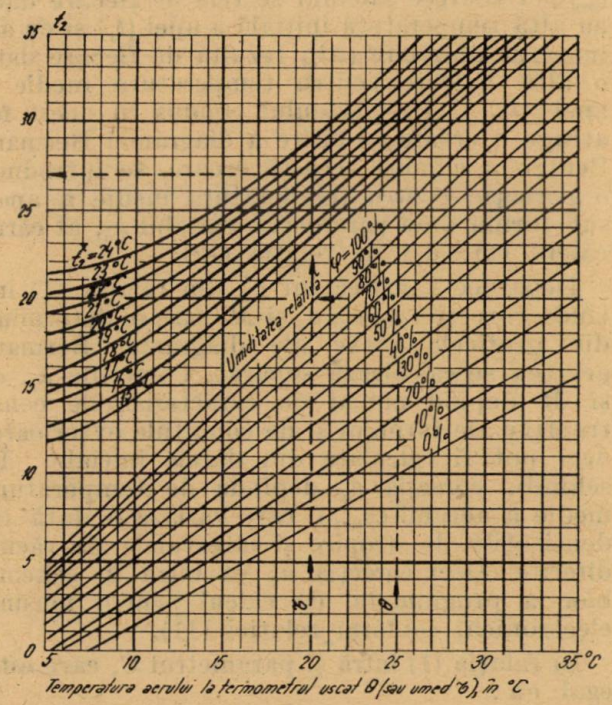


Fig. 1. Nomograma pentru determinarea temperaturii t_2.

1. Calcule prealabile pentru completarea datelor inițiale. În ipoteza folosirii metodei de dimensionare simplificate Berman, bazată pe diferența entalpiilor medii (Merkel), suprafața de răcire se calculează cu relația:

$$S = \frac{G_1 \cdot \Delta t}{1{,}61\ p_b \cdot \beta_p' \cdot k \cdot C \cdot \Delta i_{med.}}. \qquad (1)$$

Aproape toți parametrii care intră în membrul al doilea al expresiei (1) sînt variabili o dată cu modificarea densității de stropire (q), a intervalului de răcire (Δt) și a temperaturii inițiale a apei (t_1). Pentru presiunea barometrică p_b se poate lua valoarea $p_b = 1{,}03$ kgf/cm².

Dificultăți deosebite prezintă determinarea coeficientului de transfer de masă β_p'. Exactitatea deplină o poate da numai determinarea experimentală a lui β_p' pe turnul de răcire construit. Acest lucru este posibil în cazul calculului de verificare. În practică, asemenea determinări experimentale cer aparatură spe-

*) Prof. A. ing. Radu-Cernea este șeful catedrei de termotehnică și mașini termice din Institutul de Petrol, Gaze și Geologie.

cială și cadre de cercetători, condiții nu întotdeauna întrunite.

O a doua posibilitate ar fi să se folosească valoarea β'_p determinată prin datele de calcul de proiectare a turnului cu tiraj forțat respectiv. În acest caz, se face în mod voluntar o eroare, dacă β'_p a fost calculat cu ajutorul diagramei dată de L. D. Berman. Determinarea lui β'_p după grafic impune cunoașterea vitezei relative a aerului W_0 și a temperaturii medii a apei $t_{med.}$. Deoarece calculul se reia de fiecare dată cu altă temperatură inițială a apei (t_1) și cu alt interval de răcire (Δt), rezultă de fiecare dată o altă valoare pentru temperatura medie a apei ($t_{med.}$). Deci calculul condus în acest fel atrage o eroare de citire a diagramei Berman. Pentru a elimina această eroare, se introduce o corecție pentru temperatura medie a apei, sub forma unui parametru variabil a_4, al cărui calcul este dat de relația (12).

Deoarece valoarea lui β'_p din relația (1) include corecții: a_1, a_2, a_3 și M, care se determină din graficele anexe ale diagramei Berman, acestea se calculează separat. Corecțiile a_1, a_2 și M depind numai de caracteristicile constructive ale turnului și de condițiile exterioare, deci pot fi calculate din datele inițiale. În schimb, corecția a_3 depinde de temperatura medie a aerului ($\theta_{med.}$), care variază o dată cu densitățile de stropire și intervalele de răcire diferite. Deci corecția a_3 va intra în schema bloc a programului de calcul pentru mașina electronică, conform relației (11).

În relația (1) intră și parametrul C, care este egal cu:

$$C = \frac{1}{1 + 0{,}8\ (x_1 + x_2 + x''_1 + x''_2)}. \qquad (2)$$

Relația de calcul a suprafeței de răcire este:

$$S' = \frac{G_2 \Delta t\ [1 + 0{,}8\ (x_1 + x_2 + x''_1 + x''_2)]}{1{,}61\ p_b \cdot k \cdot M \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3\ (\beta_p - a_4)\ \Delta i_{med.}}. \qquad (3)$$

Cu aceste precizări, rezultă că în calculele prealabile se poate face numai determinarea acelor parametri care condiționează găsirea corecțiilor a_1, a_2, M, precum și a vitezei relative a aerului W_0, pe baza căreia se va extrage din diagrama Berman valoarea coeficientului de transfer de masă β'_p după dreapta aferentă termperaturii medii a apei, de 18°C.

2. **Relațiile analitice și schema de calcul.** Pentru întocmirea programului mașinii electronice de calcul, este necesar ca parametrii care condiționează mărimea factorilor care intră în relația (3) să fie explicitați prin relații analitice, în funcție de datele inițiale.

Astfel, s-au folosit următoarele relații de calcul pentru:

— căldura latentă de vaporizare:

$$r = 596{,}715 + 0{,}548 \cdot t, \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kgf}}\right]; \qquad (4)$$

— presiunea de saturație a vaporilor de apă din aerul umed:

$$\lg p' = 0{,}0141966 - 3{,}142305 \left(\frac{10^3}{T} - \frac{10^3}{373{,}16}\right) + 8{,}2 \lg \frac{273{,}16}{T} - 0{,}0024804\ (373{,}16 - T), \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right]; \qquad (5)$$

— umiditatea absolută a aerului:

$$x = 0{,}622 \frac{\varphi \cdot p''}{p_b - \varphi p''}, \left[\frac{\text{kgf}}{\text{kgf}}\right]; \qquad (6)$$

— entalpia aerului:

$$i = 0{,}2415\ \theta + x\ (r + 0{,}446\ \theta), \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kgf}}\right]; \qquad (7)$$

— coeficientul de corecție pentru entalpie:

$$k_1 = 0{,}99914 - 0{,}001678\ t'_2; \qquad (8)$$

— diferența medie a entalpiilor:

$$\Delta i_{med.} = \frac{(i''_1 - i_2) - (i''_2 - i_1)}{2{,}3 \lg \frac{(i''_1 - i_2) - \delta i''}{(i''_2 - i_1) - \delta i''}}, \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kgf}}\right], \qquad (9)$$

unde:

$$\delta i'' = \frac{i''_1 + i''_2 - 2i''_{med}}{4}, \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kgf}}\right]; \qquad (10)$$

— coeficientul de corecție a_3 pentru temperatura medie a aerului:

$$a_3 = 0{,}00145 \cdot \theta_{med} + 1{,}031; \qquad (11)$$

— coeficientul de corecție a_4 pentru temperatura medie a apei $t_{med.}$:

$$\begin{aligned} &\text{la } W_0 = 2 \div 2{,}8 \text{ m/s}; && a_4 = 0{,}161 \cdot t_{med.} - 2{,}91 \\ &\text{la } W_0 = 2{,}8 \div 3{,}6 \text{ m/s}; && a_4 = 0{,}228 \cdot t_{med.} - 4{,}08 \\ &\text{la } W_0 = 3{,}6 \div 5 \text{ m/s}; && a_4 = 0{,}3 \cdot t_{med.} - 5{,}4 \end{aligned} \qquad (12)$$

Pentru fiecare valoare a densității de stropire q și pentru fiecare interval de răcire Δt se reia calculul pentru cinci valori succesive ale temperaturii apei la intrarea în turn t_1. Obținerea valorii căutate pentru temperatura apei de răcire la ieșirea din turn t_2 se realizează prin folosirea polinomului de interpolare Lagrange pentru valoarea dată a suprafeței de răcire S.

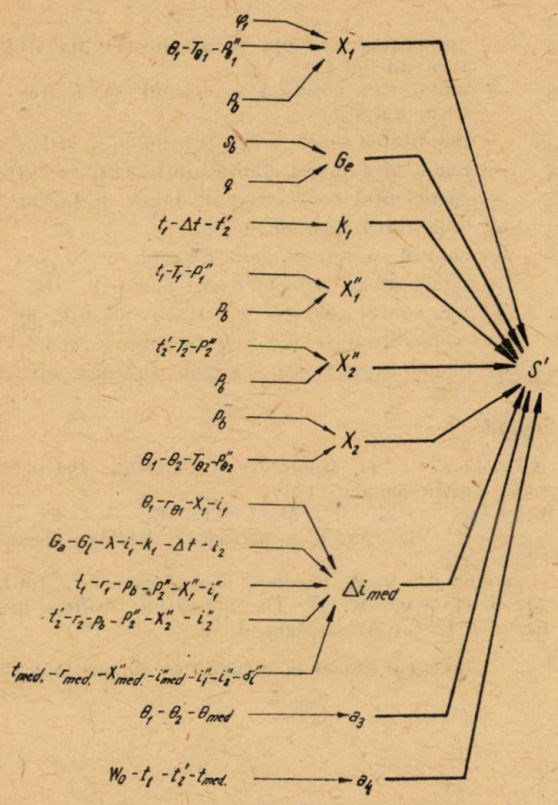


Fig. 2.

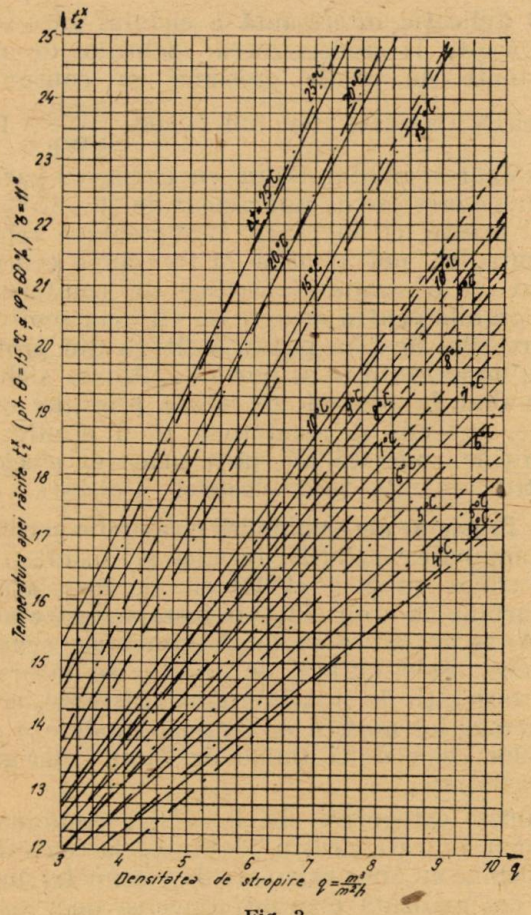


Fig. 3.

——— calculul obișnuit
—·— calculul cu mașina electronică

Schema de calcul utilizată pentru elaborarea schemelor bloc ale programului pentru mașina electronică de calcul este redată în figura 2.

3. **Exemplu de calcul.** Pe baza programului s-a făcut un calcul comparativ, cuprinzînd construcția diagramei turnului de răcire cu tiraj forțat, avînd următoarele date :

— suprafața irigată a unei celule : $S_b = 67{,}5$ m² ;
— suprafața de răcire : $S = 10\,400$ m² ;
— debitul ventilatorului $D_a = 130$ m³/s ;
— temperatura aerului după termometrul umed : $\tau_1 = 11°C$;
— temperatura aerului : $\theta_1 = 15°C$;
— umiditatea relativă : $\varphi_1 = 60\,\%$.

Caracteristicile constructive ale umpluturii sînt :

— modulul panoului : $b + \delta = 30$ mm ;
— numărul de panouri : $n = 1740$ bucăți ;
— dimensiunile panoului : 2,5.1,2.0,006 ;
— grinda principală : 0,28.7,5.
— dimensiunile grinzilor : 5.0,14.4,36.2.

Studiul comparativ dintre exemplul calculat cu ajutorul mașinii electronice de calcul (—·—·—·) și cel calculat în mod curent (fig. 3) scoate în evidență creșterea exactității de calcul și modificarea întrucîtva a pantei fasciculului de drepte (mai înclinate).

Concluzii. Prin folosirea mașinii electronice de calcul, durata calculului de verificare a fost redusă de la circa 500 ore la 4'30''. Evident că obiectivul urmărit — de a trasa diagrama turnului — se realizează cu un plus de exactitate. În aceste condiții, metodica utilizată se poate transforma într-un instrument de cercetare, care permite studiul influenței factorilor constructivi și funcționali asupra performanțelor turnurilor de răcire cu tiraj forțat, ceea ce conduce la stabilirea variantei optime în proiectare, construcție sau exploatare.

NOTAȚII

a_1 — corecție la dimensiunea b ;
a_2 — corecție la raportul $\frac{h}{b}$;
a_3 — corecție la temperatura medie a aerului θ_{med} ;
a_4 — corecție la temperatura medie a apei t_{med} ;
b — distanța între panouri, în m ;
G_a — debitul gravitic de aer, în kgf/h ;
G_1 — debitul gravitic de apă, în kgf/h ;
h — înălțimea panoului, în m ;
i_1 — entalpia aerului la intrarea în turn, în kcal/kgf ;
i_2 — entalpia aerului la ieșirea din turn, în kcal/kgf ;
i_1'' — entalpia aerului umed la saturație, la temperatura t_1, în kcal/kgf ;
i_2'' — entalpia aerului umed la saturație, la temperatura t_2, în kcal/kgf ;
i_{med}'' — entalpia medie a aerului umed saturat, la temperatura $t_{med.}$, în kcal/kgf ;
Δi_{med} — diferența medie a entalpiilor, în kcal/kgf ;
k_1 — coeficientul de corecție pentru entalpie ;
M — corecție la temperatura termometrului umed τ_1 ;
p_1'' — presiunea de saturație a vaporilor de apă, la temperatura t_1, în kgf/cm² ;
p_2'' — presiunea de saturație a vaporilor de apă, la temperatura t_2, în kgf/cm² ;
p_{θ_1}'' — presiunea de saturație a vaporilor de apă la temperatura θ_1, în kgf/cm² ;
p_{θ_2}'' — presiunea de saturație a vaporilor de apă la temperatura θ_2, în kgf/cm² ;

p''_{med} — presiunea de saturație a vaporilor de apă, la temperatura $t_{med.}$, în kgf/cm²;
p_b — presiunea barometrică, în kgf/cm²;
r_1 — căldura latentă de vaporizare, la temperatura t_1, în kcal/kgf;
r_2 — căldura latentă de vaporizare, la temperatura t_2, în kcal/kgf;
$r_{med.}$ — căldura latentă de vaporizare, la temperatura $t_{med.}$, în kcal/kgf;
r_{θ_1} — căldura latentă de vaporizare, la temperatura θ_1, în kcal/kgf;
q — densitatea de stropire, în m³/m²h;
S — suprafața de răcire, în m²;
t_1 — temperatura apei la intrarea în turn, în °C;
t_2 — temperatura apei la ieșirea din turn, în °C;
t'_2 — temperatura preliminată a apei la ieșirea din turn, în °C;
$t_{med.}$ — temperatura medie a apei, în °C;
Δt — intervalul de răcire, în °C;
T_1 — $T_1 = t_1 - 273,16$, în °C;
T_2 — $T_2 = t_2 - 273,16$, în °C;
T_{θ_1} — $T_{\theta_1} = \theta - 273,16$, în °C;
W_0 — viteza relativă a aerului, în m/s;
x_1 — umiditatea absolută a aerului la intrarea în turn, în kgf/kgf;
x_2 — umiditatea absolută a aerului la ieșirea din turn, kgf/kgf;
x''_1 — umiditatea absolută la saturație, la t_1, în kgf/kgf;
x''_2 — umiditatea absolută la saturație, la t_2, în kgf/kgf;
β_p — coeficientul de transfer de masă, în kgf/m³ at;
φ_1 — umiditatea relativă, în %;
λ — debitul specific de aer, kgf/kgf;
τ_1 — temperatura termometrului umed, în °C;
θ_1 — temperatura aerului la intrarea în turn, în °C;
θ_2 — temperatura aerului la ieșirea din turn, în°C;
$\theta_{med.}$ — temperatura medie a aerului în turn, în °C;

Bibliografie

[1] Berman, L. D. *Isparitelnoe oblajdenia țirkulaționti vodt.* Gosenergoizdat, 1957.
[2] Dinculescu, C., Moțoiu, C., Mișu, A. și Stoica, V. *Centrale termoelectrice.* Editura Tehnică, 1959.
[3] Gladkov, V. A. *Gradirni.* Gosenergoizdat, 1964.
[4] McKelvey, K. K. *The industrial cooling power.* Elsevier P. C., Amsterdam, 1959.

(Articol intrat în redacție la 20 ianuarie 1969)

—— o ——

Aplicarea ciclului gaze-abur la centrale termoelectrice existente de parametri medii

Ing. **D. Golici**, ing. **S. Apolzan** și ing. **I. Antonescu***)

În stadiul actual de dezvoltare a tehnicii construcției centralelor termoelectrice cu combustibil fosil, o soluție de mărire a randamentului ciclului apă-abur, adoptată din ce în ce mai mult de țările cu energetică dezvoltată, este ciclul combinat gaze-abur. Prin aceasta, randamentul ciclurilor apă-abur poate fi îmbunătățit cu 4 ÷ 17% [6], [8].

Centrale cu ciclu gaze-abur sînt în funcțiune de circa 10 ani în țările cu energetică dezvoltată, atingînd puteri unitare ca, de exemplu, 213,5 MW (25 MW-TG + 188,5 MW-TA) la centrala Horseshoe-Lake din S.U.A. [4].

În faza de proiect se găsesc, în special în S.U.A. și U.R.S.S., soluții de ciclu gaze-abur, combinînd grupuri cu abur de puteri din ce în ce mai mari, respectiv de la 300 la 600MW, cu turbine cu gaze stabile. Acestea sînt concepute atît pentru regimuri de bază, cît și pentru regimuri de vîrf sau semivîrf [5], [9].

*) D. Golici este șeful sectorului cicluri termoenergetice din ICENERG; S. Apolzan este cercetător principal și I. Antonescu inginer principal la același institut.

O aplicație interesantă a ciclului gaze-abur se găsește la modernizarea ciclurilor de abur existente de medie presiune cu consumuri specifice ridicate de $450 \div 500$ $\frac{g\,c.c.}{kWh}$. Prin combinarea acestor cicluri cu cicluri cu gaze se obține o creștere de randament de 10—15%. În felul acesta, cu investiții suplimentare relativ scăzute, se pot menține în funcțiune centrale vechi cu consumuri specifice de combustibil acceptabile pentru energie de vîrf sau semivîrf.

Articolul de față prezintă cîteva din problemele importante ce se pun la aplicarea ciclului gaze-abur în centrale de medie presiune existente, precum și rezultatele unui studiu, în condițiile concrete ale țării noastre, efectuat pentru centrala termoelectrică Doicești.

1. Probleme ale combinării circuitelor termice. Combinarea ciclurilor termice ale instalațiilor de turbine cu gaze (ITG) cu ale instalațiilor de turbine cu abur (ITA) în instalații gaze-abur (IGA) se poate realiza după numeroase scheme termice. Multitudinea de soluții se datorește atît varietății de tipuri de ITG existente, cît și numeroaselor moduri de întrepătrundere a circuitelor celor două fluide de lucru: aer-gaze și apă-abur.

Dintre categoriile de instalații combinate, cea mai indicată pentru adaptarea la centralele cu turbine cu abur existente de parametri medii este cea realizată prin introducerea unei instalații de turbine cu gaze care să furnizeze aerul necesar arderii în cazanele de abur, sub formă

de gaze de ardere cu exces ridicat de aer şi folosirea unor instalaţii de recuperare a căldurii din gazele de ardere, avînd următoarele caracteristici :

— indicatori de consum din cei mai buni;

— cheltuieli pentru investiţii mai mici decît la alte categorii, datorită minimului de modificări necesare;

— consum de combustibil superior (gaze naturale sau motorină) minim, numai cel necesar ITG, cazanele de abur putînd să utilizeze orice fel de combustibil;

— nu necesită echipamente de construcţie specială şi cu exploatare dificilă;

— permite, în situaţii speciale, funcţionarea separată a celor două instalaţii.

Elementul esenţial în alegerea ITG este asigurarea întregului debit de aer necesar arderii în cazane din gazele de ardere eşapate de turbina cu gaze, cînd aceasta funcţionează la sarcina nominală, ştiut fiind că randamentul ITG scade rapid la micşorarea sarcinii. Alături de indicii de calitate, are importanţă gradul de complexitate al ITG (număr de etaje de compresie şi de destindere, număr de linii de arbori, existenţa recuperatorului de căldură gaze de ardere — aer comprimat).

Furnizarea aerului necesar arderii în cazanele IGA prin gazele eşapate de către turbina cu gaze, la o temperatură apropiată de cea de la ieşirea preîncălzitoarelor de aer ale cazanelor obişnuite, face posibilă introducerea directă a acestor gaze în circuitul de preparare a combustibilului sau în focar, preîncălzitoarele de aer devenind inutile. Temperatura gazelor de ardere după economizorul cazanului fiind mare, se impune recuperarea căldurii din acestea, folosind un recuperator în circuitul aerului comprimat, făcînd recuperarea în circuitul apei de alimentare a cazanului sau combinat. Soluţia recuperării în circuitul aerului este rar utilizată, fiind mai dificilă din punct de vedere constructiv şi neputîndu-se obţine o recuperare completă, cu toate că are avantajul economisirii combustibilului superior folosit în camera de ardere. Eficacitatea soluţiei recuperării căldurii în circuitul apei de alimentare a cazanului este evidentă, dar influenţa sa asupra randamentului întregii instalaţii este diferită, în funcţie de modul cum se realizează această recuperare. După cum rezultă din calculele efectuate de autori pe un mare număr de variante, randamentul termic al IGA creşte continuu cînd scade temperatura gazelor de ardere care părăsesc instalaţia. Creşterea menţionată a randamentului termic al IGA are loc datorită faptului că creşterea randamentului cazanului, prin coborîrea temperaturii gazelor de ardere la coş, este mai mare decît scăderea randamentului termic al ciclului cu abur, care se produce prin diminuarea corespunzătoare a aportului de căldură al aburului prelevat de la prizele turbinei, adică prin micşorarea debitului acestor prize.

Pe de altă parte, literatura de specialitate indică obţinerea unor valori mai mari ale randamentului termic al IGA pentru aceeaşi căldură recuperată în recuperatoare aşezate în paralel cu circuitul regenerativ existent, faţă de recuperatoare aşezate în serie, adică înlocuind preîncălzitoarele cu abur pe porţiunea respectivă de circuit [2], [3].

Pentru fiecare centrală la care se studiază modernizarea prin trecerea la ciclu gaze-abur, este necesară elaborarea unor variante separate de schemă termică, care să ia în considerare diferite tipuri de instalaţii şi combinări.

Este necesară, de asemenea, stabilirea caracteristicilor turbinelor cu abur existente, al căror debit de abur la prizele nereglabile scade prin trecerea la ciclu gaze-abur, şi a capacităţii maxime de încărcare a condensatoarelor.

Pentru efectuarea calculului termic al IGA s-a stabilit de către autori o metodă detaliată prin adaptarea metodei din lucrarea dr. ing. C. Burducea [1] pentru un ciclu gaze-abur nou. Metoda se bazează pe calculul ciclurilor ITG şi ITA, prin raportarea tuturor mărimilor la debitul de aer aspirat de compresor, adică corespunzătoare la 1 kg aer aspirat de compresor. Metoda ia în considerare variaţia coeficientului de exces de aer pe traseul gazelor de ardere, compoziţia gazelor de ardere în punctele caracteristice şi entalpia corespunzătoare, folosind o diagramă $I-t$ special construită.

Prin multiplicarea mărimilor raportate corespunzătoare cu debitul de aer aspirat calculat, se obţin valorile reale ale debitelor de combustibil, ale fluidelor de lucru în diferite puncte, ale puterii electrice produse şi ale puterii serviciilor interne.

Înlocuirea alimentării focarelor cu aer preîncălzit, prin alimentarea cu gaze de ardere de la ITG, se face prin montarea unor conducte de transport şi de distribuţie a gazelor de ardere la fiecare cazan în parte [6]. Racordarea acestor conducte la instalaţia cazanelor se face fie direct la arzătoarele de gaze sau păcură, fie în circuitul de preparare a prafului de cărbune, în funcţie de tipul de combustibil consumat de cazane. Cum, în general, locul de amplasare al ITG este în partea extensibilă a centralei, conducta de transport care are lungime mare, suprafaţă mare a secţiunii transversale şi temperatura gazelor ridicată (între 300 şi 450°C, în funcţie de tipul ITG) pune probleme de amplasament, izolaţie termică şi pierderi de presiune.

Deoarece funcţionarea separată a ITA se preconizează a avea loc în cazuri rare şi cu durată minimă, preîncălzitoarele de aer se demontează, în general [6]. În spaţiul rămas liber în canalul gazelor de ardere după economizor se montează „economizorul recupe-

rator", prescurtat „eco-r", în care are loc răcirea în continuare a gazelor de ardere. Ventilatoarele de gaze de ardere rămîn în funcțiune, iar ventilatoarele de aer care nu se demontează se păstrează pentru alimentarea cazanelor în cazul funcționării independente a ITA.

Schimbarea regimului de funcționare a cazanelor se datorește următoarelor cauze :

— micșorarea debitului de abur produs în cazul micșorării debitului de abur livrat la prizele turbinelor, dacă nu există posibilitatea destinderii suplimentare pînă la condensator;

— modificarea valorilor temperaturii și debitului gazelor de ardere în punctele caracteristice, pentru același consum de combustibil, datorită prezenței gazelor inerte, produse ale arderii în ITG.

Pentru noul regim, este necesară efectuarea calculului termic pentru verificarea menținerii valorilor temperaturii aburului produs de cazan și a temperaturii gazelor de ardere la intrarea în economizorul recuperator, precum și a calculului suprafeței de schimb de căldură a „eco-r".

În regim de funcționare la sarcini parțiale, randamentul ITG scade mai rapid decît randamentul ITA. Din această cauză, la scăderea sarcinii pînă la 60—50% din sarcina nominală a IGA, se menține ITG în funcțiune la puterea nominală, descărcarea făcîndu-se prin reducerea sarcinii cazanelor și a turbinelor cu abur. Micșorarea debitului de combustibil al cazanelor, menținînd debitul de gaze de ardere de la ITG constant, duce la mărirea coeficientului de exces de aer în cazan, la creșterea temperaturii gazelor la ieșirea din cazan și, deci, la mărirea pierderilor prin gazele de ardere la ieșire. Pentru păstrarea calității arderii de la sarcina nominală, se prevede posibilitatea devierii unei părți din gazele de la ITG, fie ocolind focarul și introducîndu-le în al doilea drum de gaze al cazanului, fie introducîndu-le sub formă de aer terțiar [3], [7].

La sarcini sub 60 — 50% din sarcina nominală, e necesară și descărcarea ITG. Menținerea valorilor ridicate ale randamentului ITG la sarcini parțiale se poate obține folosind ITG cu două turbine, una cuplată cu compresorul de aer, avînd posibilitatea reglării turației, iar cealaltă cuplată cu generatorul, la turație constantă, sau două ITG separate, fiecare producînd jumătate din debitul de gaze de ardere pentru alimentarea cazanelor, la sarcini parțiale una din ele putînd fi oprită. Pentru cazul indisponibilității ITG din IGA, se prevede posibilitatea funcționării independente a ITA [6]. Pentru aceasta nu se demontează nici preîncălzitoarele apei de alimentare care au fost înlocuite prin economizoare recuperatoare. Singura dificultate o constituie preîncălzirea aerului de ardere. În cazul existenței combustibilului gazos, pentru această situație, funcționarea este în general posibilă cu o scădere a randamentului. În cazul arderii cărbunelui pulverizat se propune utilizarea unor preîncălzitoare de aer cu gaze, produse prin arderea unui combustibil lichid sau gazos, sau recircularea de gaze. O altă soluție posibilă de a asigura funcționarea independentă a ITA este menținerea preîncălzitoarelor de aer nedemontate și așezarea economizoarelor recuperatoare într-un canal de gaze în derivație, racordat la coș, cu posibilitatea dirijării gazelor cu ajutorul unor clapete, dar ea este mai scumpă.

2. Aplicarea ciclului gaze-abur la CTE Doicești

2.1. *Prezentarea centralei.* Centrala termoelectrică Doicești are o putere instalată de 120 MW și este compusă din șase grupuri turbogeneratoare cu abur de 20 MW, alimentate cu abur, în schemă bloc cu conductă colectoare comună, de către șase cazane de cîte 100 t/h, cu parametrii aburului viu 60 ata, 480°C, cu circulație naturală.

Cele șase turbine de condensație identice au patru prize de abur nereglabile, pentru preîncălzirea regenerativă a condensatului principal.

Schema circuitului termic existent este redată în figura 1, iar schema cazanului în figura 6.

Randamentul brut al circuitului termic cazan-turbină la sarcina nominală, inclusiv pierderile de apă-abur, este $\eta_{bITA} = 25{,}72\%$ și randamentul net este $\eta_{netITA} = 23{,}45\%$.

Consumul specific de combustibil mediu realizat în ultimii ani pentru energia produsă este de circa 500 $\frac{\text{gc.c.}}{\text{kWh}}$.

Centrala utilizează, în funcționare normală, doi combustibili : lignit în proporție calorică de circa 70÷80% și gaze naturale circa 30÷20%. Păcură folosește drept combustibil de rezervă.

Datorită consumului specific de combustibil ridicat, planurile de perspectivă apropiată prevăd menținerea centralei în regim de vîrf cu un număr de circa 4000 ore utilizare anuală a puterii instalate.

Capacitatea totală a centralei a fost dată în exploatare în 1956, iar starea actuală a echipamentului este corespunzătoare unei funcționări de durată.

2.2. *Variante de calcul. Compararea lor.* Elaborarea variantelor și efectuarea calculului termic al acestora s-a făcut în două etape. În prima etapă s-au luat în considerare 11 variante, toate utilizînd același tip de instalație de turbină cu gaze, cu un singur grup, ales pentru a satisface cerința de aer a cazanelor la sarcina nominală.

Ciclul cu abur existent impune respectarea a două condiții cînd se trece la ciclul combinat, și anume : menținerea în schemă a preîncălzitorului *III* (fig. 1) pentru condensarea aburului de la vaporizatorii apei de adaos și a degazorului

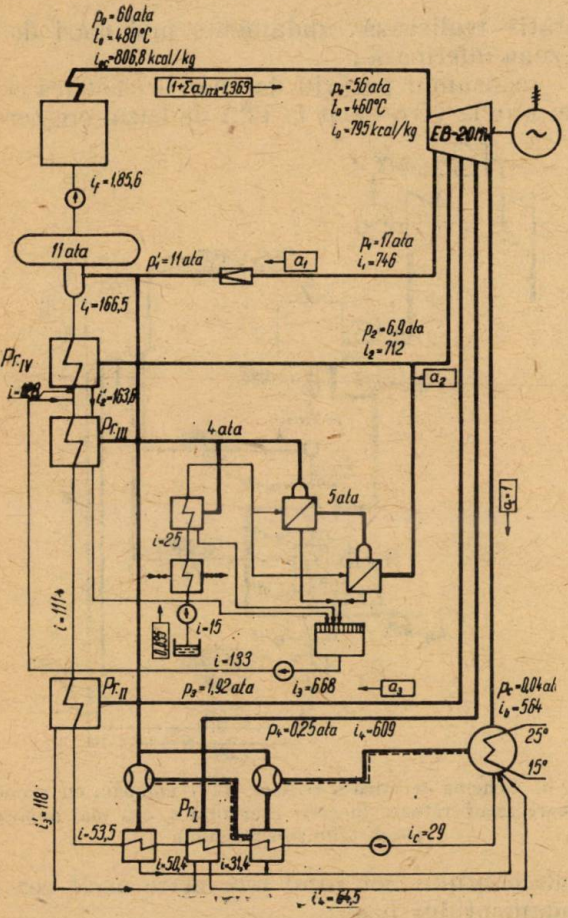


Fig. 1. Schema termică a ITA existentă la CTE Doiceşti.

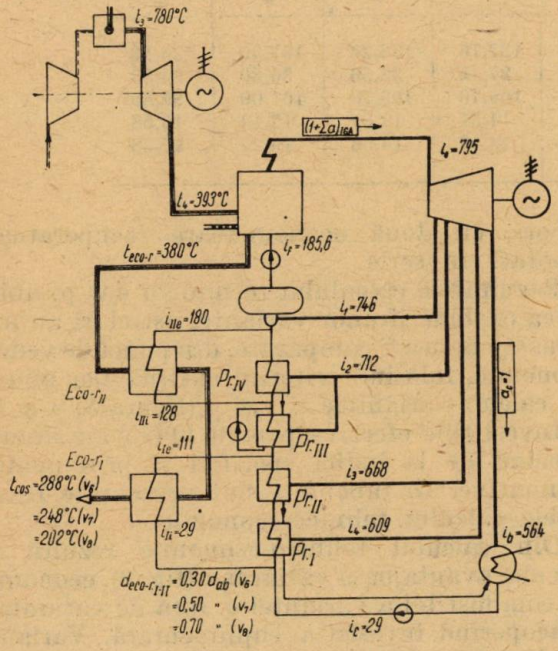


Fig. 2. Schema termică a IGA cu două economizoare recuperatoare în paralel, cu preîncălzitoarele regenerative cu abur (variante preliminare).

pentru toată apa de alimentare. Cele 11 variante preliminare se pot împărţi în două grupe, una cu economizoare recuperatoare în paralel cu preîncălzitoarele regenerative, cealaltă cu economizoare recuperatoare în serie cu preîncălzitoarele regenerative, adică înlocuind o parte din acestea. Pentru variantele cu două „eco-r" în paralel, despărţite de preîncălzitorul *III*, a căror schemă este dată în figura 2, randamentul termic brut al IGA creşte cînd creşte fracţia din debitul apei de alimentare a cazanelor care trece prin „eco-r" şi, respectiv, scade temperatura gazelor la coş, după cum rezultă din tabelul 1.

Tabelul 1

Fracţia din debitul cazanului care trece prin „eco-r" I şi II	Temperatura gazelor de ardere la coş, °C	Creşterea randamentului termic brut al IGA faţă de ITA, %
0,3	288	5,42
0,5	248	7,01
0,7	202	8,77

Creşterea randamentului termic brut este cu atît mai mare, cu cît scăderea temperaturii gazelor la coş este mai accentuată. Varianta care înlocuieşte tot sistemul de preîncălzire regenerativă printr-un „eco-r" duce la cea mai mare creştere de randament: $\Delta\eta_b = 18{,}35\%$, dar este practic nerealizabilă.

Efectuînd calculul termic comparativ al cazanului nemodificat pentru debitul nominal şi al cazanului modificat pentru funcţionarea în IGA cu un debit mediu rezultat din variantele preliminare, s-au tras următoarele concluzii :

— se poate realiza valoarea nominală a temperaturii aburului supraîncălzit, de 480°C, la funcţionarea cazanului în IGA;

— temperatura gazelor de ardere la ieşirea din suprafeţele de schimb de căldură pentru apă şi abur existente ale cazanului nu se modifică simţitor în condiţiile funcţionării în IGA. Temperatura variază în jurul valorii de 370°C, cu ±10°C, funcţie de sarcina cazanului.

Pe baza calculului variantelor preliminare şi a calculului termic al cazanului, s-au stabilit variantele de schemă termică care au fost luate în considerare în comparaţia definitivă.

Au fost analizate în continuare opt variante, din care şase folosesc ITG pe o linie de arbore (instalaţiile existente în producţia actuală VF-737 şi VR-737, cu puterea nominală de 28,4MW, şi VF-738, cu puterea nominală de 31,6 MW, ale firmei Siemens Schuckert) şi două folosesc o ITG pe două linii de arbori (comprimare şi destindere în două trepte), instalaţia GT-36 Fiat, cu puterea nominală 36,3 MW. Pentru aprecierea efectului recuperării de căldură în cadrul ITG, patru din variantele considerate sînt fără recuperator gaze-aer, trei variante cu

recuperator gaze-aer şi o variantă cu recuperare de căldură gaze-aer comprimat şi preîncălzirea gazelor de ardere de la ITG în treapta a IV-a a preîncălzitorului de aer al cazanului (care se păstrează numai în această variantă) înainte de a fi introduse în morile de cărbune.

Prezentarea variantelor şi notarea lor este dată în tabelul 2.

Tabelul 2

Situaţia recuperării de căldură \ Tipul de ITG folosită	VF-737		VR-737		VF-738	GT-36
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Fără recuperator gaze-aer	*b*	*c*	—	—	*a*	*g*
Cu recuperator gaze-aer	—	—	*d*	*e*	—	*h*
Cu recuperator gaze-aer şi utilizarea preîncălzitorului *IV* de aer	—	—	*f**		—	—

(1) „Eco-r" în serie înlocuind preîncălzitoarele cu abur *I*, *II* şi parţial *IV* cu mărirea intervalului de încălzire în degazor;
(2) „Ecor-r" în serie înlocuind preîncălzitoarele cu abur *IV* şi *II* şi menţinînd preîncălzitorul *I* cu abur;
(*) „Eco-r" în paralel cu circuitul regenerativ.

Pentru toate variantele, s-a stabilit valoarea temperaturii gazelor de ardere la coş 145°C, iar valoarea temperaturii gazelor de ardere la intrarea în „eco-r" a rezultat pentru fiecare variantă în parte. În figurile 3,4 şi 5 sînt date schemele termice pentru variantele cele mai interesante.

Din calculul termic se dau în tabelul 3 puterile nominale la funcţionarea combinată şi creşterile randamentelor brute şi nete ale IGA faţă de ITA, pentru toate variantele.

nerativ realizează randamente mai mari decît în zona inferioară;

— consumul propriu de energie electrică este mai mic la IGA decît la ITA de bază, creşterea

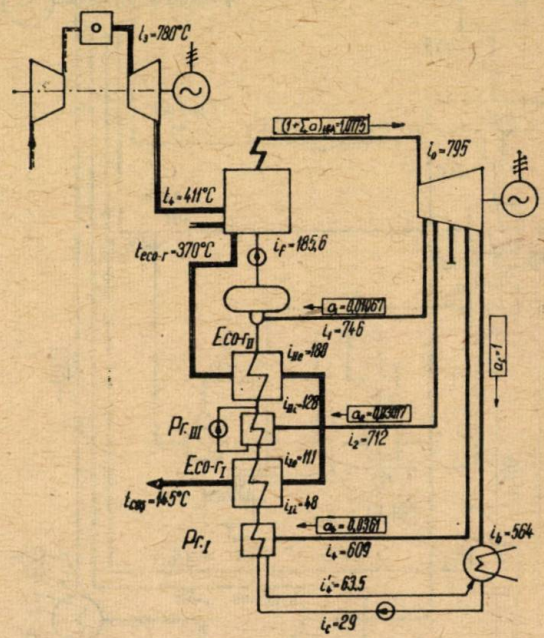


Fig. 3. Schema termică a IGA cu ITG monoax, cu economizoare recuperatoare în serie (varianta *c*, cea mai avantajoasă tehnico-economic).

randamentului net fiind mai mare decît cea a randamentului brut;

— randamentul maxim al IGA se obţine în varianta *g* (figura 5), cu ITG pe două linii de

Tabelul 3

Varianta	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*
P_{IGA} [MW]	134,60	134,80	137,10	134,24	137,16	138,26	137,30	133,83
P_{ITG} [MW]	27,70	27,80	28,00	27,17	27,46	28,56	36,30	34,83
P_{ITA} [MW]	106,90	107,00	109,10	107,07	109,70	109,70	101,00	99,00
$\Delta\eta_{bIGA}$ [%]	13,86	14,77	15,86	13,41	14,57	12,87	17,12	15,58
$\Delta\eta_{netIGA}$ [%]	15,42	16,45	17,70	15,03	16,50	14,58	19,27	17,33

Deoarece la toate variantele s-a păstrat constant debitul de abur la condensator, egal cu cel nominal, puterea produsă de ITA este mai mică decît cea nominală, corespunzător micşorării debitului prizelor.

Concluziile care se desprind din calculul termic al variantelor de schemă propuse sînt:

— economizorul recuperator în serie cu preîncălzitoarele regenerative ale ITA conduce la randamente mai mari decît cel în paralel, în condiţiile ciclului cu abur considerat (60 ata, 480°C), (figura 1);

— preîncălzitorul recuperator gaze-aer la ITG (variantele *d*, *e*, *f* şi *h*) duce la randamente inferioare faţă de aceleaşi instalaţii de la care lipseşte;

— economizorul recuperator plasat în zona superioară a temperaturilor circuitului regearbori, cu două economizoare recuperatoare montate în serie.

Rezultatele calculului termic au dat posibilitatea excluderii unor variante, astfel că au mai rămas pentru a fi comparate, din punct de vedere economic, folosind criteriul cheltuielilor anuale de calcul, variantele *c*, *e* şi *g* (figura 3, 4 şi 5).

Investiţiile efective pentru ITG s-au stabilit pornind de la indici specifici şi prin analize estimative. În tabelul 4 sînt prezentate rezultatele calculului tehnico-economic.

Din calculul tehnico-economic rezultă ca cea mai avantajoasă varianta *c* (fig. 3), economia de combustibil a variantei *g* faţă de varianta *c* neacoperind investiţia suplimentară. Varianta *c* foloseşte o ITG pe o singură linie de arbore cu o putere instalată de 28,4 MW, care produce un spor de putere al centralei de 17,1 MW,

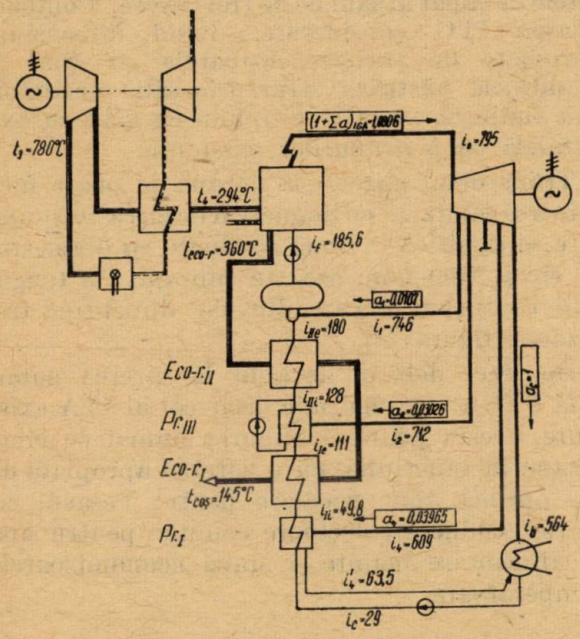


Fig. 4. Schema termică a IGA cu ITG monoax, cu recuperator de căldură gaze-aer şi economizor recuperator în serie (varianta *e*).

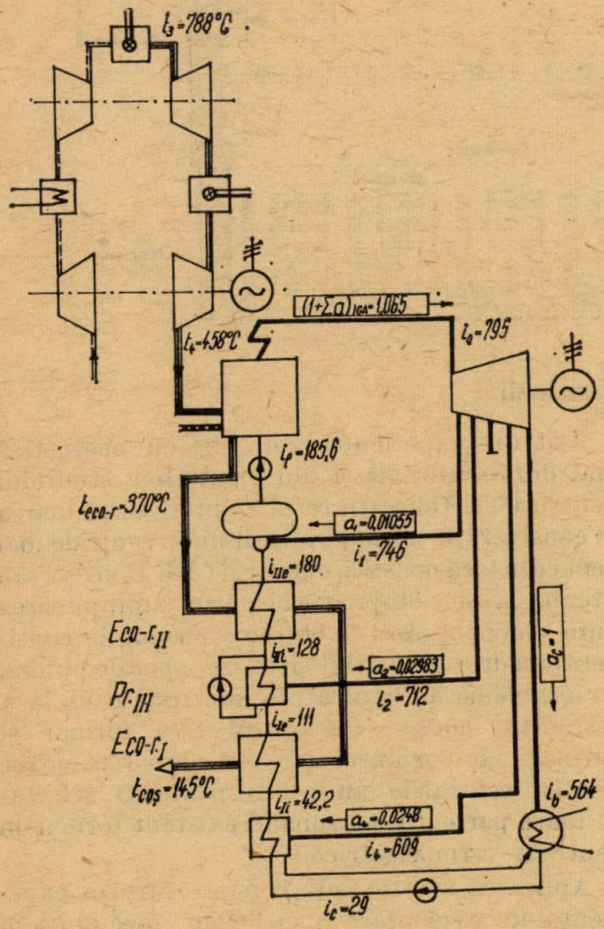


Fig. 5. Schema termică a IGA cu ITG pe două linii de arbori, cu economizoare recuperatoare în serie (varianta *g*).

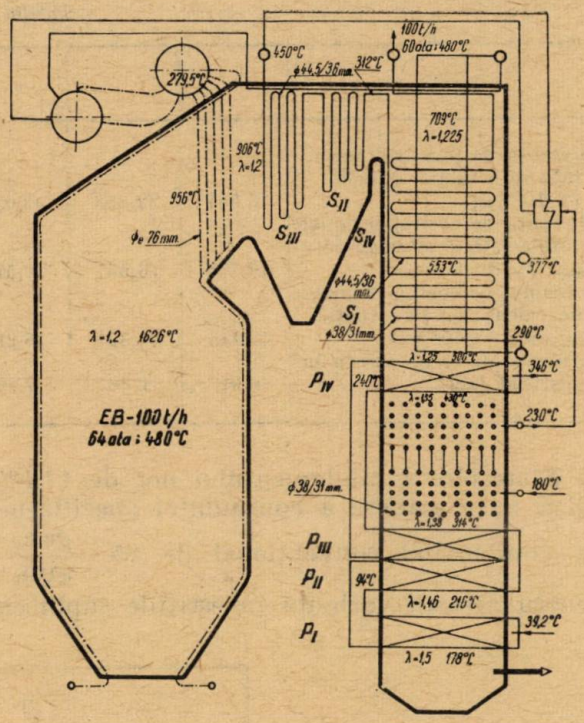


Fig. 6. Schema termică a cazanului de abur EB-100 t/h existent la CTE Doiceşti.

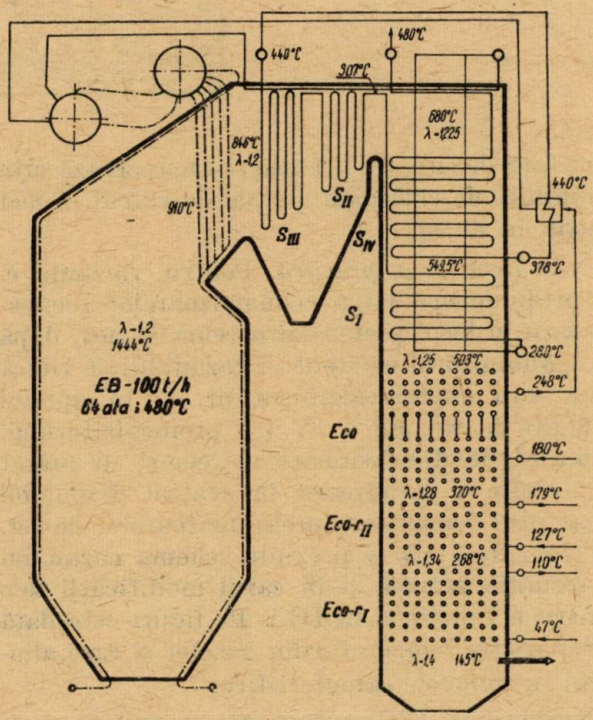


Fig. 7. Schema termică a cazanului modificat pentru funcţionarea în IGA.

Tabelul 4

Varianta	c	e	g
Diferența de investiții totale față de situația actuală [$\times 10^6$ lei]	15,587	22,358	43,050
Diferența de cheltuieli anuale totale față de situația actuală [$\times 10^6$ lei]	17,773	16,557	19,519
Diferența de cheltuieli anuale de calcul față de situația actuală [$\times 10^5$ lei]	17,143	14,321	15,214
Termenul de recuperare a investiției [ani]	0,91	1,56	2,83

cu o creștere a randamentului net de 17,7%, adică cu o scădere a consumului specifie net de combustibil convențional de 85 $\frac{gc.c.}{kWh}$. Pentru această variantă investițiile suplimentare față de situația actuală se recuperează prin economia de cheltuieli anuale de calcul în mai puțin de un an.

2.3. *Realizarea practică.* Pentru varianta *c*, se propune instalarea economizoarelor recuperatoare în locul preîncălzitoarelor de aer, după ce economizorul existent al cazanului se ridică pînă sub supraîncălzitorul nr. 1, în spațiul eliberat de treapta a IV-a a preîncălzitorului. Calculul de dimensionare a „eco-r" a arătat că acesta se încadrează în spațiul disponibil creat prin demontarea preîncălzitoarelor de aer. În figurile 6 și 7 se prezintă schema cazanului în situația actuală și în cazul modificării sale pentru a funcționa în IGA. Pe figuri este dată și repartiția temperaturilor gazelor și apei-aburului în punctele caracteristice.

Amplasarea ITG se propune a se face în capătul extensibil al sălii mașinilor deplasînd peretele de capăt al sălii peste trei travee. Compactitatea ITG considerate, avînd dimensiuni apropiate de turbogeneratoarele cu abur și avantajele păstrării structurii sălii mașinilor, face indicată așezarea grupului cu gaze cu axa paralelă cu a grupurilor existente.

Transportul gazelor la cazane se poate face printr-o conductă cu diametrul de circa 4000mm, care se ramifică în două conducte cu diametrul de circa 2800 mm, așezate suprapus în lungul sălii cazanelor, fiecare din ele alimentînd trei cazane (figura 8).

Deoarece debitul de abur la sarcina nominală a IGA este mai mic decît cel al ITA existente, acesta poate fi asigurat numai cu cinci cazane în funcțiune, cu o sarcină apropiată de cea optimă. Sînt necesare pentru această situație conducte colectoare comune pentru apa de alimentare înainte și după economizoarele recuperatoare.

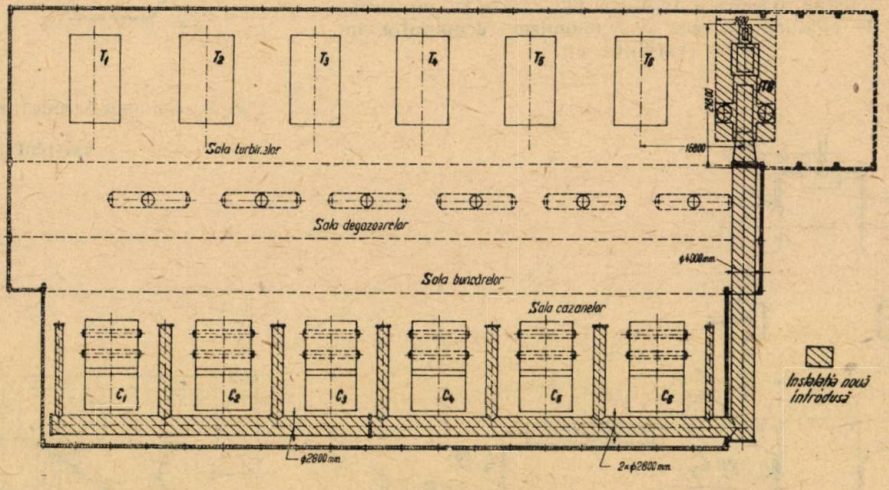


Fig. 8. Amplasarea IGA în CTE Doicești.

Concluzii

Atît din experiența unor țări cu energetică mai dezvoltată, cît și din rezultatele studiului pentru CTE Doicești, rezultă interesantă luarea în considerație a modernizării unor centrale mai vechi din țara noastră, cum ar fi CTE Doicești sau Steaua Roșie, etapa veche, prin suprapunerea unui ciclu cu gaze. Se obține o economie considerabilă de combustibil și un mic spor de putere, cu probleme de exploatare mai reduse ca la o instalație nouă. Personalul este format și rutinat, iar surplusul (de circa zece persoane pentru centralele amintite) poate fi selectat în mare parte din personalul existent format în centrala termoelectrică.

Aplicarea acestei soluții poate furniza experiența de exploatare a ciclurilor gaze-abur în condițiile țării noastre pentru eventuala instalare de unități noi gaze-abur.

În felul acesta, se pot menține rentabil în funcțiune, pe o perioadă de cel puțin zece ani, centrale de medie presiune cu echipament în stare bună, care altfel, din cauza neeconomicității lor, trebuie reduse la un regim de rezervă rece sau conservare.

Bibliografie

[1] Burducea, C. *Contribuție la studiul schemelor termice ale centralelor electrice cu ciclu abur-gaze.* Teză de doctorat. I.P.B. 1966.

[2] Goebel, K. *Entwicklung und Bauart der Siemens Gasturbine.* Siemens Zeitschrift nr. 2, 1967.

[3] Schüller, K. H. *Kombinierte Dampf — Gas — Prozesse.* BBC — Nachrichten, nr. 10/11, 1959.

[4] Stout, J. B., Walsh, J., Mc Kone, T. și Mellor, A. *The combined cycle offers 4% increase of efficiency.* Electrical World, 14, 1961.

[5] Foster-Pegg, R. W. *Trends in combined steam-gas turbine power plants in the U.S.A.* Rapport no. 66—GT/CMC—67. A.S.M.E. 1966.

[6] Abugov, Ia. M., Korneev, M. I., Poniatov, V. A. și Hlebalin, I u. M. *Analiz effectivnosti modernizații parogazovomu țiklu deistvuiușcih teplovîh electrostanții.* Teploenerghetika nr. 5, 1966.

[7] Andriușcenko, A. I. și Lapșov, V. N. *Parogazovie ustanovki elektrostanții.* Ed. Energhiia, Moscova — Leningrad, 1965.

[8] Knizia, K. *Die Thermodinamik des Dampfkraftprozesses.* Springer-Verlag, Berlin — Heidelberg — New-York 1966.

[9] Korneev, M. I. și Abugov, Ia. M. *Orientările principale și perspectivele de dezvoltare a instalațiilor energetice cu turbine cu abur și gaze.* Energomașinostroenie nr. 11, 1965.

(Articol intrat în redacție la 18 martie 1969)

Elaborarea schemelor de montaj de automatizare cu calculatoare numerice

Ing. **Mirea N.**,
ing. **Iliescu S. St.**,
ing. **Bogdan M.** *)

În prezent, schemele de montaj de automatizare se întocmesc stabilindu-se legăturile de la șirurile de cleme la instalații și elemente de automatizare, pornind de la scheme desfășurate.

Operația respectivă, de întocmire a schemelor, etapă importantă în munca de elaborare a unui proiect, impune un volum foarte mare de muncă, atît de concepție, cît și pentru verificare. Avînd în vedere caracterul de rutină al acestor operații, faptul că nu reclamă o calificare ridicată a personalului de proiectare și totodată în scopul reducerii timpului de proiectare și al ușurării proiectantului, s-a preconizat folosirea calculatoarelor electronice pentru întocmirea acestor scheme.

În articolul de față se prezintă modul de utilizare a calculatoarelor electronice numerice pentru elaborarea schemelor de montaj, dîndu-se și un exemplu concret de întocmire a schemei de montaj a unei electropompe de apă de adaos, realizată pe un calculator IBM-360-30.

1. **Modul de utilizare a calculatorului numeric.** Stabilirea modului de utilizare a calculatorului numeric, în scopul elaborării schemelor de montaj, pe baza schemei desfășurate, s-a determinat pornindu-se de la studierea amănunțită a etapelor de rezolvare a acestei probleme de către proiectant și rezultatele la care trebuie să ajungem, condițiile tehnologice impuse etc.

Analiza aceasta, a modului în care proiectantul își desfășoară munca de elaborare a schemei, a permis să se tragă concluzia că la rezolvarea acestei probleme își găsește aplicație teoria selecției, sortării, ordonării și codificării. În fond, aspectul matematic și practic al acestei probleme constă din următoarele:

Fiecare schemă desfășurată se analizează în parte, se stabilesc elementele de circuit constitutive și se codifică, simbolizîndu-se elementele componente, modul în care sînt legate etc. Schema se transformă într-un tabel compus din elemente de circuit, cărora li se asociază o serie de caracteristici (de exemplu instalația din care face parte, locul de amplasare etc.). Această etapă, de abstractizare a problemei concrete, a permis tratarea oricărei scheme desfășurate ca un caz particular al unei scheme generale. După codificarea schemei se trece la împărțirea mulțimii elementelor, pe baza unor relații de echivalență, într-o serie de submulțimi. Astfel de relații de echivalență sînt date de locul de amplasare și marcajul atașat elementelor ce sînt legate la același potențial. Sortarea sau selecția elementelor mulțimii de date în clase de echivalență se face pe baza unei relații de ordine, în scopul de a le aranja în conformitate cu un sistem liniar adoptat pentru ordonare, de exemplul, în sensul crescător sau descrescător al marcajelor. Schema generală a modului în care a fost rezolvată problema

*) Nicolae Mirea este inginer proiectant consilier la Institutul de studii și proiectări energetice; Sergiu Stelian Iliescu este asistent la Catedra de automatică I din Institutul politehnic „Gh. Gheorghiu-Dej" — București; Matei Bogdan este inginer de mașini de calcul la Centrul de calcul al Universității București.

este arătată în figura 1. Se pot observa următoarele etape importante, ce conduc la elaborarea unei scheme de montaj :

1. Punerea problemei şi fixarea datelor iniţiale, care constau în prelucrarea schemei desfăşurate sub forma unui tabel de elemente de circuit componente, fiecare element fiind afectat de o serie de caracteristici (de exemplu, locul unde este amplasat, cu cine se leagă etc.). Tabelarea schemei este executată de proiectant în timpul elaborării schemei desfăşurate.

— necesitatea ca rezultatele obţinute să fie interpretate direct, fără să mai fie necesar operaţii suplimentare.

Avînd în vedere consideraţiile de mai sus, s-au studiat mai multe posibilităţi de programare, şi anume :

— programarea în cod maşină : CIFA 101 ;
— codul RPG pentru IBM-360-30 ;
— limbajul de programare Assembler pentru IBM-360-30 ;
— FORTRAN + ALGOL.

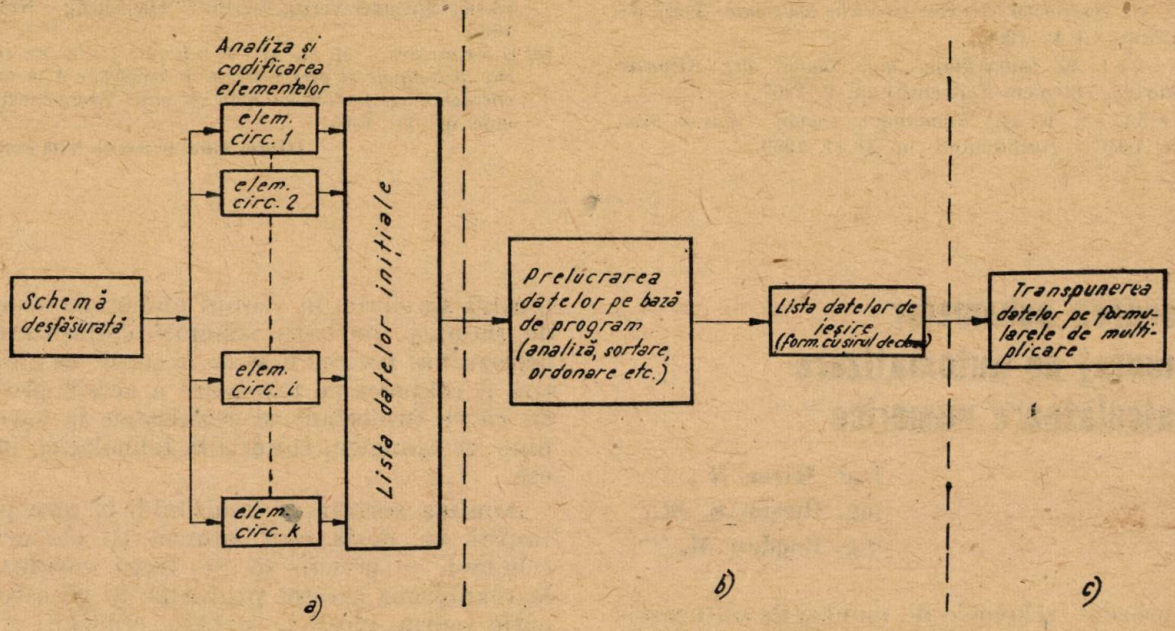


Fig. 1. Schema generală de rezolvare a problemei :
a — etapa 1, de punere a problemei, este realizată de proiectant ; *b* — etapa a 2-a este executată de calculator ; *c* — etapa a 3-a — transcrierea datelor de către desenator.

2. Prelucrarea datelor iniţiale de către calculator, pe baza programului, ce realizează operaţiile de analiză, selecţie-sortare, ordonare, decodificare şi tipărire a rezultatelor.

3. Interpretarea rezultatelor obţinute. În cazul de faţă, după cum se arată în paragrafele următoare, interpretarea rezultatelor este directă, în sensul că, în afara transcrierii rezultatelor pe formularele de multiplicare a desenelor, alte prelucrări nu mai sînt necesare.

2. **Programul schemei.** În scopul stabilirii programului pe calculator, a fost necesar, în primul rînd, să se aleagă limbajul de programare. La alegerea făcută s-a ţinut seama de următoarele :

— tipul calculatorului folosit, în cazul concret, IBM-360-30 ;

— posibilitatea ca programul elaborat să poată fi transcris cu uşurinţă în limbaje de programare, permiţînd aceleaşi facilităţi, specifice altor tipuri de calculatoare ;

— specificul problemelor rezolvate care impun introducerea unui număr mare de date de bază şi folosirea aceluiaşi program pentru o varietate mare de probleme ;

Din examinarea făcută au rezultat următoarele :

Codul de maşină, de exemplu, pentru CIFA 101, este total nesatisfăcător, avînd în vedere marile greutăţi în programarea şi codificarea datelor, durata mare în care s-ar rezolva problema, posibilităţile reduse în afişarea rezultatelor, necesitatea interpretării datelor obţinute etc.

Limbajul de programare RPG pentru calculatoarele IBM-360-30, deşi creează facilităţi în prelucrarea şi afişarea datelor, reclamă o aranjare (ordonare) a înseşi datelor de intrare. În acest fel, calculatorul ar fi transformat, practic, într-o maşină de scris a datelor introduse pe cartele perforate.

Assemblerul este un limbaj de programare, instrucţiune cu instrucţiune pentru calculatoarele IBM-360-30. Apropiat de codul maşină, programarea în Assembler a problemei studiate este foarte laborioasă, prezentînd dificultăţi serioase, în special în realizarea selecţiei sortărilor.

Au fost reţinute limbajele FORTRAN şi ALGOL, utilizate pentru calcule ştiinţifice, care permit prezentarea şi obţinerea datelor,

atît sub formă numerică, cît şi alfabetică, programarea fiind mult uşurată etc. Avînd în vedere tipul de calculator avut la dispoziţie, precum şi faptul că autorii îşi propun dezvoltarea ulterioară a acestui program şi pentru alte aspecte ale proiectării, s-a ales pentru programare limbajul FORTRAN IV pentru calculatorul IBM-360-30.

Programarea pe calculator impune următoarele etape :

— introducerea datelor pe cartele perforate, care se face separat pentru fiecare schemă în parte ;

— stabilirea unui program general de prelucrare a datelor, ce este valabil independent de schema studiată ;

— interpretarea rezultatelor.

a) *Introducerea datelor.* Se porneşte de la schema desfăşurată şi fiecare element de circuit se trece într-o tabelă ce cuprinde o serie de caracteristici ale acestuia. Capul de tabel este de tipul celui prezentat în tabelul 1, în care se

Tabelul 1

Locul de amplasare	Dulapul, cutia sau aparatul din care face parte	Marcaj pentru legăturile ce au acelaşi potenţial	Simbolul elementului (bobină, contact etc.)	Borna elementului
1	2	3	4	5

Informaţiile cuprinse în datele de intrare.

fac următoarele notaţii : coloana *1* se completează cu simbolurile *INT* sau *EXT*, reprezentînd locul de amplasare a aparatului ; coloana 2, cu simbolul dulapului, panoului etc. din schema desfăşurată(de exemplu *DC-1* dulap de comandă), elementul de circuit cu borna sa se trece tot prin simbolul din schema desfăşurată în coloana *4*, respectiv *5*, iar în coloana *3* se trece marcajul adoptat pentru legăturile ce au acelaşi potenţial. Un exemplu de completare a acestui tablou este dat în anexă (tabelul 4).

b) *Programul general de prelucrare a datelor de intrare.* Programul general de prelucrare a fost scris în limbajul de programare FORTRAN IV, pentru calculatorul IBM-360-30. El are drept scop să efectueze operaţiile necesare pentru stabilirea numărului de cleme din dulap, numerotarea acestora şi legăturile la aceste cleme ale diferitelor elemente din schema desfăşurată atît din dulap, cît şi exterioare.

Programul general, care se întocmeşte, prelucrează datele primite pentru fiecare schemă în parte conform tabelului 4, scrutează informaţiile necesare şi stabileşte pentru fiecare clemă în parte ce legături se vor executa. În acest scop, se scrie un program care realizează următoarele funcţiuni :

— ia în considerare ordinea de legare la cleme, pe baza marcajului dat conductorilor cu acelaşi potenţial :

— pornindu-se de la un marcaj (de exemplu, 1002), se stabilesc toate elementele componente care au aceeaşi tensiune şi indică aparatele şi bornele care sînt legate la tensiunea respectivă ;

— intrarea în şirul de cleme se face în funcţie de locul de amplasare a elementului considerat (de exemplu, elementele din exterior sînt racordate prin partea din stînga a şirului de cleme) ;

— verificarea scrutării tuturor datelor de intrare ;

— tipărirea datelor de ieşire ce cuprind : denumirea instalaţiei automatizate şi a dulapului, precum şi a şirului de cleme.

Programul general se poate urmări pe baza schemei logice din figura 2. După darea *START*-ului, sînt citite în mod automat de pe cartele perforate, prin instrucţiunea *READ*, datele iniţiale pentru fiecare schemă desfăşurată şi programul general de prelucrare. După aceasta, calculatorul, luînd prima secvenţă din şirul automat de mărci, scrutează datele iniţiale şi elementele ce corespund secvenţei luate, în funcţie de locul de amplasare, precum şi de raportul dintre numărul de legături interioare şi exterioare panoului, sînt tipărite, prin instrucţiuniea *WRITE*, conform formatului ales. Această operaţie se repetă pentru toate secvenţele din şirul automat de mărci pînă la epuizarea acestuia (*KM*) şi pentru toate datele de intrare (*IM*). Un fragment din programul de calcul, scris în limbajul de programare FORTRAN este dat în tabelul 2.

Programul poate prelucra 500 de date iniţiale, elementele de circuit putînd fi legate în 500 de moduri diferite. Acest lucru permite prelucrarea unor scheme foarte complexe, sau chiar a mai multora în acelaşi timp. Dacă cifra de 500, mai sus menţionată, se dovedeşte însă insuficientă, ea se poate modifica printr-o schimbare neînsemnată a programului (înlocuirea unor cartele perforate).

Programul a fost întocmit pentru obţinerea schemelor de montaj (de exemplu, scheme de semnalizare etc.), după principiul „în păianjen", lucru ce implică realizarea legăturilor între elementele de circuit la şirul de cleme.

c) *Interpretarea rezultatelor.* Rezultatele obţinute prin prelucrarea datelor iniţiale prin programul de calcul sînt tipărite, conform formatului

ales, la imprimanta calculatorului. Programul de calcul a fost astfel întocmit încît să se excludă necesitatea unei prelucrări ulterioare, susceptibile apariţiei unor greşeli. De aceea,

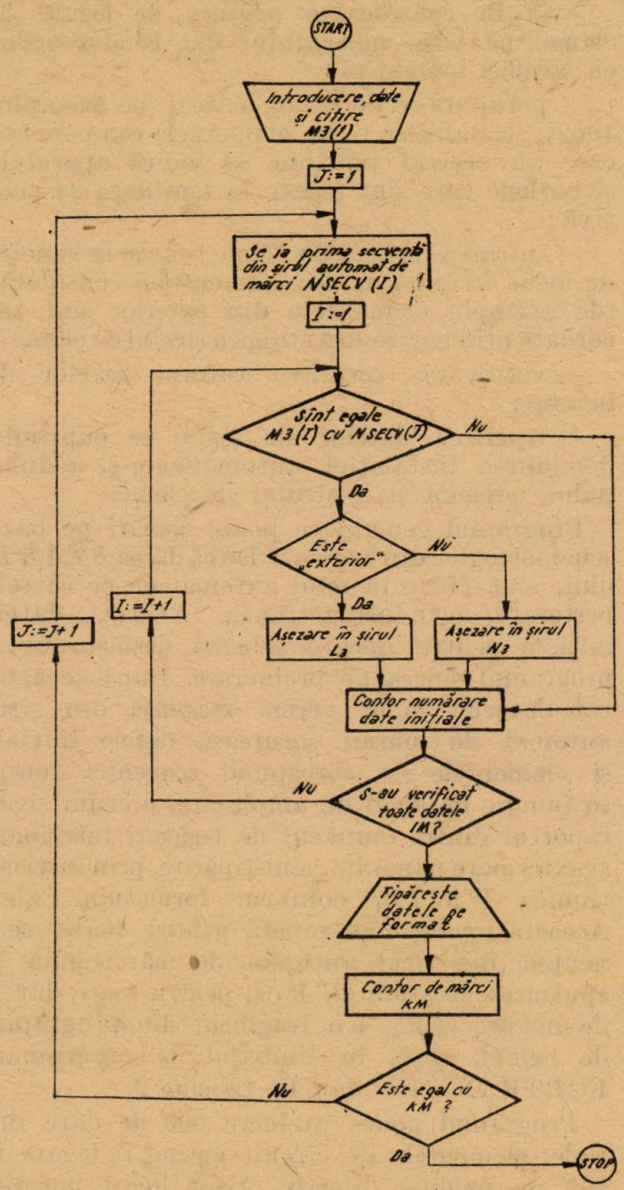


Fig. 2. Schema logică a programului de întocmire a schemei de montaj pornind de la schema desfăşurată.

Tabelul 2

```
53  MM=M + 1
    M=M + IK
    WRITE (3, 109)
    DO 48 NR =MM, M
    K=NR − MM + 1
    WRITE (3,111) L2(K), L4(K), L5(K), L3(K), NR,
    N3(K), N4(K), N5(K), N2(K)
48  CONTINUE
    CALL INIT2 (L2, L3, L4, L5, N2, N3, N4, N5, K)
    MM = M + 1
    M = M + IJ − IK
    DO 49 NR=MM, M
    K=K + IJ−IK
    WRITE (3, 112) NR, N3(K), N4(K), N5(K), N2(K)
49  CONTINUE
    CALL INIT 1 (N2, N3, N4, N5, K)
    WRITE (3, 109)
10  CONTINUE
    GO TO 60
34  WRITE (3, 107)
    GO TO 60
24  WRITE (3, 106)
60  STOP
    END
```

formatul datelor de ieşire a fost astfel ales încît să fie tipărit chiar şirul de cleme ale dulapului (tabelul 3).

Se tipăreşte denumirea instalaţiei automatizate sau comandate căreia îi este afectat dulapul de automatizare, de exemplu „Pompă apă adaos" sau „Ventilator de gaze arse VG-1" etc., urmat de simbolul dulapului din schema desfăşurată şi simbolul şirului de cleme. În continuare, este tipărit şirul de cleme sub forma unui tabel ce conţine următoarele elemente, în funcţie de locul elementului de circuit (interior sau exterior):

Pentru elementele ce sînt legate de exterior, coloana *1* se completează cu simbolul adoptat pentru instalaţia de la care vine (de exemplu, *CL* pentru cutia locală), simbolul elementului de circuit cu borna sa este trecut în coloanele *2* şi *3* (de exemplu, *LA-1*), iar marcarea punţilor de legătură dintre elemente prin nişte paranteze patrate se face în coloana *5*. Aceleaşi elemente sînt trecute şi pentru elementele ce sînt amplasate în dulap (coloanele *7—11*). În plus, pentru a se urmări mai uşor modul de executare a punţilor, s-au trecut în coloanele

Tabelul 3

Denumirea instalaţiei automatizate sau comandate
Denumirea dulapului (panoului sau pupitrului)
Denumirea şirului de cleme

Legături exterioare					*Legături interioare*					
Instalaţia de la care se vine	Simbolul elementului de circuit	Borna elementului	Marcaj pentru legăturile ce au acelaşi potenţial	Simbol de marcare a punţilor de legătură	Numărul clemei din şirul de cleme	Simbol de marcare a punţilor de legătură	Marcaj pentru legăturile ce au acelaşi potenţial	Simbolul elementului de circuit	Borna elementului	Aparatul din care face parte
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Prezentarea datelor de ieşire.

4 și *8* marcajele circuitelor care au același potențial. Numerotarea clemelor se face, în ordine crescătoare, în dreptul coloanei *6*.

Un exemplu practic de utilizare a programului și a rezultatelor obținute este dat în anexă.

Programul dispune de două subrutine pentru ștergerea datelor din adresele intermediare, în care sînt depozitate pe timpul sortării și ordonării. Acest lucru asigură o protecție suplimentară împotriva eventualelor greșeli ce ar apărea în datele de ieșire. De asemenea, programul are posibilitatea de a semnaliza, prin tipărirea la imprimantă, apariția erorilor în cartelele de date, cauzate de perforări greșite sau de codificări necorespunzătoare ale schemei desfășurate, sau a greșelilor de calcul.

Concluzii. Pe baza programului expus în cadrul acestui articol s-au întocmit de către autori schemele de legături la cleme a unor instalații automatizate sau comandate dintr-o CTE din țară echipată cu grupuri de 200 MW. Rezultatele obținute au fost încurajatoare, munca proiectantului fiind ușurată, iar durata de proiectare necesară micșorîndu-se simțitor. În continuare, programul de calcul este prevăzut a fi utilizat pentru obținerea integrală a schemelor de legături la cleme din CTE în curs de proiectare.

Programul de întocmire a schemelor de montaj a fost testat pe calculatorul IBM-360-30, pentru care s-a adoptat limbajul de programare FORTRAN IV. El poate fi transcris cu ușurință în orice limbaj automat de programare ce oferă aceleași posibilități.

În prezent, sînt în curs de elaborare programe ce vor realiza schemele de montaj ale tablourilor prin optimizarea legăturilor între legăturile aferente acestora, obținerea structurii rețelei de cabluri, inclusiv jurnalul de cabluri, și, de asemenea, un program de verificare a schemei de montaj obținute.

Aplicarea în munca de proiectare a acestor rezultate va aduce o reducere substanțială a timpului de elaborare a proiectelor de execuție, precum și o serie de îmbunătățiri în munca de proiectare propriu-zisă, cum ar fi : utilizarea schemelor tip, organizarea corespunzătoare a specificațiilor de aparataj etc. Totodată se va reduce simțitor durata de fabricație și de montaj, evitîndu-se eventualele greșeli cauzate de neatenția proiectantului. Rentabilitatea proiectării va crește datorită posibilităților de creștere a încărcării de proiectare, fără creșterea numărului personalului angajat.

ANEXĂ

Utilizarea practică a programului scris în limbaj FORTRAN IV, prin care se obține o schemă de montaj, pornind de la o schemă desfășurată, s-a făcut pe un exemplu concret, și anume la întocmirea șirului de cleme din dulapul de comandă a unei electropompe de apă de adaos.

Schema de comandă (fig. 3) constă dintr-o cheie de comandă *CB*, amplasată pe dulapul de comandă *DC-1*. În poziția figurată, comanda de anclanșare a pompei este blocată prin contactul *RNS 2*. În cazul în care condițiile de blocaj sînt satisfăcute, contactul *RNS 2* este închis și bobina *A* de anclanșare este pusă sub tensiune. În acest fel, întreruptorul tripolar de alimentare a motorului se închide și pompa este anclanșată. Contactele *(7—9)A* și *(2—4) A* servesc pentru semnalizarea la dulapul de comandă a poziției declanșat, respectiv

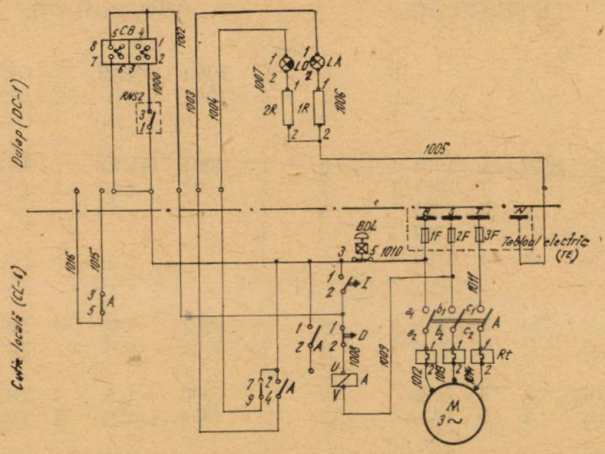


Fig. 3. Schema desfășurată a electropompei de apă de adaos.

anclanșat, a pompei de alimentare. Pompa poate fi declanșată local prin *BDL* sau *D*, iar anclanșarea locală se poate face prin *I*. Motorul este prevăzut cu protecție la scurtcircuit prin siguranțe fuzibile și cu protecție la suprasarcină prin relee termice.

Datele ce trebuie prelucrate de calculator sînt introduse pe cartele perforate sub forma unui tabel, ce reprezintă, sub o altă formă, schema desfășurată. Tabelul cuprinde datele complete cu privire la elementele de circuit, bornele ce sînt utilizate, locul de amplasare etc. Un fragment din formularul datelor de intrare este dat în tabelul 2. Completarea formularului datelor de intrare se face prin luarea fiecărui element (contactor, bobină, lampă etc.) din care este realizată schema desfășurată și notarea tuturor bornelor sale cu simbolul mărcii conductorului de legătură, precum și locul de amplasare, cu simbolizarea instalației din care face parte elementul considerat. De exemplu, lampa de semnalizare a declanșării motorului (vezi fig. 3) este simbolizată în schema desfășurată cu *LD* și are două borne notate cu *1* și *2*, prin care se leagă de alte elemente din schemă cu conductoarele marcate cu *1004* și *1007*. Lampa este amplasată în dulapul de comandă simbolizat cu *DC-1*, deci este un element interior al acestuia. După cum se observă în tabelul 4, simbolul *LD* a fost trecut în coloana 4 în două rînduri, bornele trecîndu-se în coloana 5 ; simbolul *INT* se trece în coloana 1, urmat de cel al dulapului de comandă *DC-1* și de marca corespunzătoare bornei : *1004*, în primul rînd, corespunzător lui *LD* borna *1*, și *1007*, în al doilea rînd, corespunzător lui *LD* borna *2*.

Tabelul 4

INT	DC 1	1004	LD	1
INT	DC 1	1007	LD	2
EXT	TE	1005	O	N
EXT	CL	1008	A	U

Fragment din formularul datelor de intrare a schemei desfășurate din figura 3.

Menționăm că, spre deosebire de cartelele perforate cu datele inițiale, ce sînt utilizabile doar pentru o anumită schemă, programul general este introdus pe cartele separat și poate fi refolosit.

Informațiile cuprinse în datele inițiale sînt prelucrate prin program de calculatorul electronic, iar rezultatele sînt oferite la o imprimantă sub forma dată de tabelul 5 și cuprind

Tabelul 5

315 POMPA APA ADAOS N1
DULAP DC-1 (10)
ȘIR CLEME I

LEGĂTURI EXTERIOARE							LEGĂTURI INTERIOARE			
				I	1	I	1000	RNS2	3	DC1
				I	2	I	1000	CB	2	DC1
CL	BDL	3	1001	I	3	I	1001	RNS2	1	DC1
CL	A	7	1001	I	4	I	1001	CB	7	DC1
CL	A	2	1001	I	5	I				
CL	I	1	1001	I	6	I				
CL	A	1	1001	I	7	I				
CL	D	1	1002	I	8	I	1002	CB	8	DC1
CL	I	2	1002	I	9	I	1002	CB	1	DC1
CL	A	4	1003		10		1003	LA	1	DC1
CL	A	9	1004		11		1004	LD	1	DC1
TE	0	0	1005	I	12	I	1005	1R	2	DC1
				I	13	I	1005	2R	2	DC1
				I	14	I	1006	1R	1	DC1
				I	15	I	1006	LA	2	DC1

Fragment din formularul datelor de ieșire (scheme de legături la șirul de cleme) a schemei desfășurate din figura 3.

toate elementele necesare realizării de către montaj a legăturilor la șirul de cleme. Astfel, de exemplu, la primele două cleme, *1* și *2*, ale șirului *I* se leagă elementele din dulapul *DC-1* simbolizate cu *RNS 2—3* și *CB-2*, avînd marca *1000*, care nu au nici o legătură cu exteriorul dulapului. În cazul cînd apar și legături cu elemente exterioare, acestea se trec în partea stîngă a coloanei în care sînt numerotate clemele. De exemplu, la clemele *12* și *13*, elementele din dulapul *DC-1*, *1R-2* și *2R-2* se leagă între ele și, de asemenea, cu elementul exterior, bara de nul din tabelul electric *TE*; punțile de legătură sînt simbolizate prin paranteze pătrate.

Se observă că rezultatele obținute nu mai sînt necesare a mai fi prelucrate. Ele doar sînt transcrise pe formularele tip de calc, pentru a putea fi multiplicate la heliograf. Schema de montaj corespunde întocmai schemei reale ce trebuia obținută. Simbolurile utilizate sînt cele din schema desfășurată, ceea ce înlesnește mult urmărirea în paralel a schemei desfășurate și de montaj.

BIBLIOGRAFIE

[1] Bernhard Schmid TS 119 — *Bearbeitung von Schaltunterlagen für den Eigenbedarf von Wärmekraftwerken mit der DVA.* Voraussetzungen und Konsequenzen der Rationalisierung geistiger Arbeit (Vortrag gehalten am 31.5.67 im grossen Vortragssaal der Siemens A. G. in Erlangen).

[2] Mirea, N., Iliescu, S. St. și Bogdan, M. *Proiectarea schemelor de montaj al tabloului de comandă.* Comunicare ținută la 3.11.1968 la Sesiunea jubiliară a Institutului politehnic „Gh. Gheorghiu-Dej", București.

[3] Mirea N., Iliescu, S. St. și Bogdan, M. *Proiectarea schemelor de montaj al tablourilor de comandă pe calculatoare numerice.* Comunicare ținută la 6.03.1969 la Sesiunea jubiliară de comunicări tehnico-științifice — 20 de ani de activitate ISPE-ISPH, București.

(Articol intrat în redacție la 11 martie 1969)

CĂTRE AUTORI

Autorii care doresc să obțină exemplare din numerele revistei „Energetica" în care vor fi publicate articolele lor sînt rugați să comunice în scris redacției, odată cu predarea manuscrisului articolului respectiv în redacție, numărul de exemplare dorit (care nu va putea depăși însă cifra de 10 exemplare de fiecare autor).

Aceste exemplare vor fi fără copertă exterioară și fără reclame, iar contravaloarea lor, de 5 lei exemplarul, va fi reținută din drepturile de autor.

Redacția

Revista „ENERGETICA", organ al Ministerului Energiei Electrice și al Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor din R. S. România (CNIT). Redacția: București, str. Galați nr. 5—7; Tel. 136683; 130053; Sectorul II. Instituțiile pot achita abonamentele pentru biblioteci și cabinete tehnice în contul nostru de virament: nr. 40.01.01.00 B.N.R.S.R. — Sectorul II. Tarif pentru întreprinderi lei 100 anual. Tarif pentru muncitori, tehnicieni și ingineri lei 30 anual. Prețul unui exemplar lei 5. — Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București — c. 3542

Taxele poștale plătite în numerar conform aprobării D.G.P.T. nr. 10/1095, 1967

41 401

СОДЕРЖАНИЕ

Гроза, О: **Электрификация страны в годы режима народной демократии**

Energetica 17 (1969), No. 8, стр. 361–368

DK 621.311.22 :697.34

Бурдуча, К., Киореану, Г. и *Джурджа, Д.*; **Тёплоэлектростанция Крайова**

Energetica 17 (1969), No. 8, стр. 369–376

DK 621.311.2.002.72

Макриш, А. и *Мушат, И.*: **Достижения в монтаже электростанций.**

Energetica 17 (1969), No. 8, стр. 377–382

DK 621.311.17 :621.311.4 : 621.315.1.001.24

Милитару, П., Нистор, М., Петреску, К., Винтилеску, М. и Войня, Д.: **Настоящий этап в проектировании электрической части станций и подстанций и линий высокого напряжения С. П. Румынии.**

Energetica 17 (1969), No. 8, стр. 383–388

DK 621.565.931.001.24 : 681.3

Раду-Черня, А.: **Проверочные тёпловые расчёты градирень с продувкой с помощью Э.В.Ц.М.**

Исследуются снижения времени проверочных расчётов размеров градирень с продувкой посредством известных методов расчёта и с помощью Э.В.Ц.М.

Energetica 17 (1969), No. 8, стр. 389–392

DK 621.311.22 :621.1.013

Голич, Д., Аползан, С. и *Антонеску, И.*: **Применение цикла пар-газы на существующих Т.Э.Ц. средних параметров**

Исследуются возможности модернизации станций средних параметров посредством монтажа газовых турбин и комбинация их цикла с циклом существующих паровых установок.

Energetica 17 (1969), No. 8, стр. 392–399

DK 621-52.002.72 :681.32

Миря, Н., Илиеску, С. Ст. и *Богдан, М.*: **Составление монтажных схем автоматизации с помощью цифровых вычислительных машин**

Представляется способ использования Э.Ц.В.М. для составления монтажных схем на основе развёрнутых схем, данных проектировщиком.

Energetica 17 (1969), No. 8, стр. 399–404

INHALTSVERZEICHNIS

Groza, O.: **Die Elektrifizierung des Landes während des volksdemokratischen Regimes**

Energetica 17 (1969), H. 8, S. 361–368

DK 621.311.22 :697.34

Burducea, C., Chioreanu, Gh. und *Giurgea, D.*: **Industriekraftwerk Craiova**

Energetica 17 (1969), H. 8, S. 369–376

DK 621.311.2.002.72

Măcriş, A. und *Muşat, I.*: **Leistungen auf dem Gebiet des Montage von Kraftwerkseinrichtungen**

Energetica 17 (1969), H. 8, S. 377–382

DK 621.311.17 :621.311.4 :621.315.1.001.24

Militaru, P., Nistor, M., Petrescu, C., Vintilescu, M. und *Voinea, D.*: **Gegenwärtiger Stand der Projektierung des elektrischen Teils von Kraftwerken, Umspannanlagen und Hochspannungsleitungen in Rumänien**

Energetica 17 (1969), H. 8, S. 383–388

DK 621.565.931.001.24 :681.3

Radu-Cernea, A.: **Rechnerische Überprüfung der thermischen Leistung von Zwangsumlaufkühlen, an Hand elektronischer Rechner**

Es wird die Herabsetzung der Dauer von Überprüfungsberechnungen für Auslegung bon Kühltürmen bei gegebenen Zwangsumlauf vermittels bekannter Rechnungsverfahren sowie mit elektronischen Rechnern.

Energetica 17 (1969), H. 8, S. 389–392

DK 621.311.22 :621.1.013

Golici, D., Apolzan, S. und *Antonescu, I.*: **Einführung von Gas-Dampf-Zyklus in vorhandene Dampfkraftwerke mittlerer Parameter**

Es werden die Möglichkeiten einer Modernisierung bestehender Dampfkraftwerke mittlerer Parameter vermittels Anlage von Gasturbinensätzen und Kombinierung derselben mit den vorhandenen Dampfanlagen.

Energetica 17 (1969), H. 8, S. 392–399

DK 621-52.002.72 :681.32

Mirea, N., Iliescu, S. St. und *Bogdan, M.*: **Ausarbeitung von Automatisierungs-Montageschaltbildern mit digitalen Rechnern**

Es wird die Anwendungsweise digitaler Rechner für Ausarbeitung von Montageschaltbildern an Hand von vom Konstruktionsbüro entworfener Stromlaufpläne erörtert.

Energetica 17 (1969), H. 8, S. 399–404

SOMMAIRE

Groza, O. : **L'électrification de la Roumanie sous le régime démocratique-populaire**

Energetica 17 (1969), no. 8, p. 361—368

CD 621.311.22 :697.34

Burducea, C., Chioreanu, Gh. et *Giurgea, D.* : **Craiova, centrale combinée électricité/chaleur**

Energetica 17 (1969) no. 8, p. 369—376

CD 621.311.2.002.72

Măcriș, A. et *Mușat, I.* : **Assemblage des centrales électriques — réalisations**

Energetica 17 (1969), no. 8, p. 377—382

CD 621.311.2 :621.316.262 :621.315.05.(498) 001

Militaru, P, Nistor, M., Petrescu, C., Vintilescu, M. et *Voinea, D.* : **Le stade actuel d'étude de la partie électrique des centrales, des postes et des lignes à haute tension en Roumanie**

Energetica 17 (1969), no. 8, p. 383—388

CD 621.565.931.001.24 :681.3

Radu-Cernea, A. : **Le calcul thermique de vérification des tours de réfrigeration à tirage forcé, à l'aide d'un calculateur électronique**

Il s'agit d'une étude de la réduction de la durée d'un calcul de vérification donné du dimensionnement des tours de réfrigeration avec tirage forcé, qui emploie les méthodes de calcul connues et un calculateur électronique.

Energetica 17 (1969), nr. 8, p. 389—392

CD 621.311.22 :621.1.013

Golici, D., Apolzan, S. et *Antonescu, I.* : **L'application du cycle gaz-vapeur dans les centrales thermiques à paramètres moyens existantes**

Les auteurs étudient les possibilités de moderniser les centrales thermiques à paramètres moyens à l'aide du montage d'un groupe avec turbine à gaz et de la combinaison du cycle de cette dernière avec le groupe à vapeur existant.

Energetica 17 (1969), nr. 8, p. 392—399

CD 621-52.002.72 :681.32

Mirea, N., Iliescu, S. St. et *Bogdan, M.* : **Etablissement des schémas de montage de l'automatisation à l'aide du calculateur numérique**

Le mode d'emploi des calculateurs numériques en vue d'établir des schémas de montage, à base du schéma développé présenté par le groupe d'études.

Energetica 17 (1969), nr. 8, p. 399—404

CONTENTS

Groza, O. : **The electrification of Romania under the People's Democratic government**

Energetica 17 (1969), nr. 8, p. 361—368

DC 621.311.22 :697.34

Burducea, C., Chioreanu, Gh. and *Giurgea, D.* : **Craiova heat and power plant**

Energetica 17 (1969), nr. 8, p. 369—376

DC 621.311.2.002.72

Măcriș, A. and *Mușat, I.* : **The erection of power stations — some achievements**

Energetica 17 (1969), nr. 8, p. 377—382

DC 621.311.2 :621.316.262 :621.315.05(498)001

Militaru, P., Nistor, M., Petrescu, C., Vintilescu, M. and *Voinea, D.* : **The present stage of the design of the electrical side of power stations, substations and h.v. lines in Romania**

Energetica 17 (1969), nr. 8, p. 383—388

DC 621.565.931.001.24 :681.3

Radu-Cernea, A. : **The thermal test calculation of forced-draft cooling towers, by means of an electronic computer**

This is a study about cutting down the time allowed for a given check-over calculation of the sizing of forced-draft cooling towers, using the usual methods of calculation and an electronic computer.

Energetica 17 (1969), nr. 8, p 389—392

DC 621.311.22 :621.1.013

Golici, D., Apolzan, S. and *Antonescu, I.* : **The application of the gas-steam cycle to existing thermal power stations with average parameters**

The authors study the possibility of updating power stations of average parameters by installing gas-turbine units and by combining the cycle of the latter with that of the existing steam plant.

Energetica 17 (1969), nr. 8, p 392—399

DC 621-52.002.72 :681.32

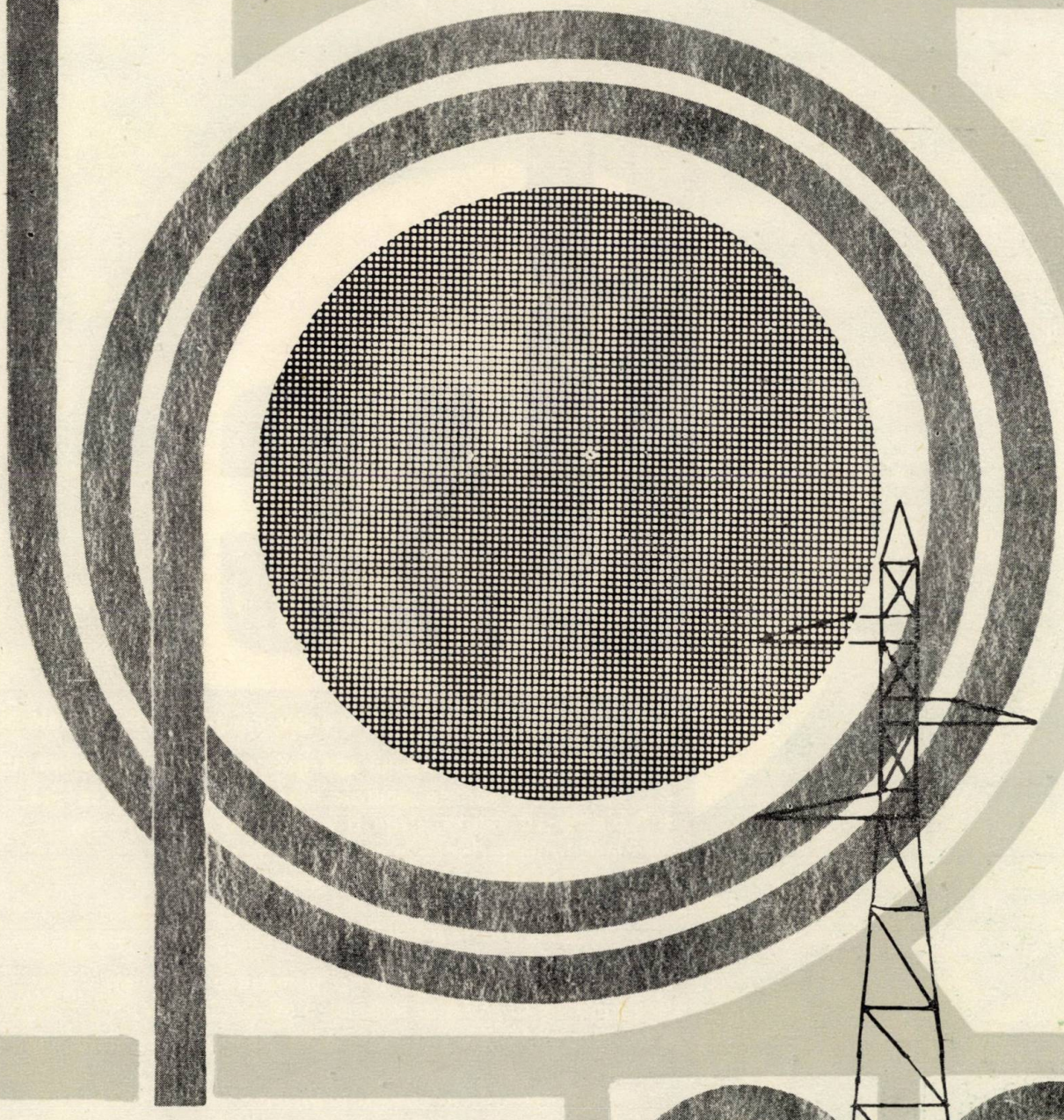
Mirea, N., Iliescu, S. St. and *Bogdan, M.* : **How to establish assembly schemes for automation by means of digital computers**

The article shows how to employ digital computers for the purpose for establishing assembly schemes, based upon the diagram developed by the design team.

Energetica 17 (1969), nr. 8, p. 399—404

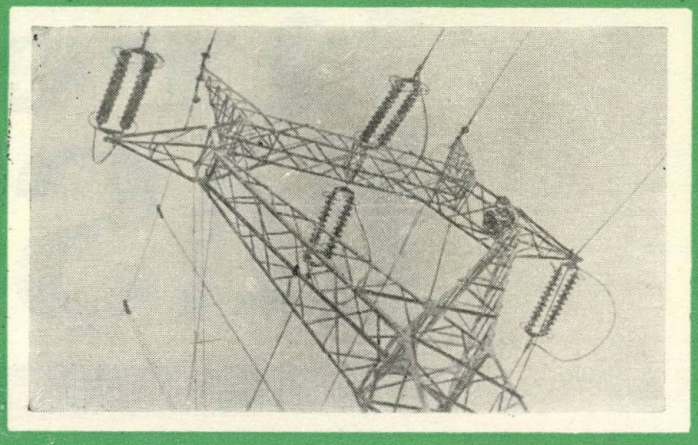
ZAKŁADY GRAFICZNE

ire IAŞI



- transportă şi distribuie energie electrică pentru consumatorii industriali şi casnici

- proiectează şi execută lucrări de construcţii-montaj şi instalaţii interioare la consumatori industriali şi casnici



IRE

BACĂU

- Transportă și distribuie energie electrică prin rețelele sale, alimentate din sistemul energetic național, asigurînd tuturor consumatorilor de energie electrică o bună deservire.
- Proiectează rețele, stații și posturi de transformare. instalații interioare în mediul urban și rural.
- Execută rețele și posturi de transformare,

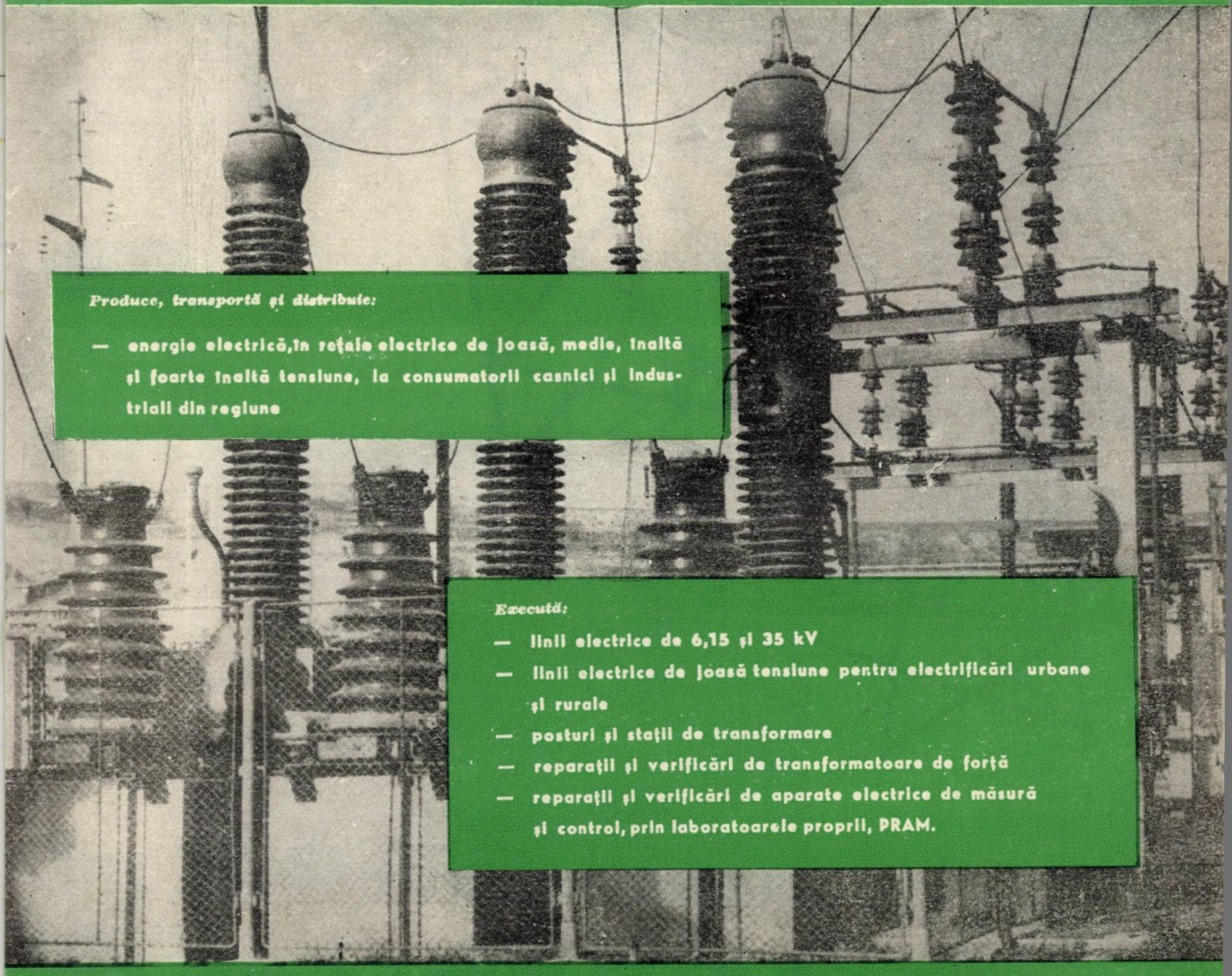
Execută reparații :

- la transformatoare de forță și măsură cu puteri pînă la 40 MVA și tensiuni pînă la 110 kV;
- la întrerupătoare și separatoare pentru toate tensiunile

Execută lucrări mecanice :

- de confecții metalice pentru linii electrice aeriene;
- de scule și dispozitive specifice lucrărilor energetice

I.R.E. OLTENIA



Produce, transportă și distribuie:

— energie electrică, în rețele electrice de joasă, medie, înaltă și foarte înaltă tensiune, la consumatorii casnici și industriali din regiune

Execută:

— linii electrice de 6,15 și 35 kV
— linii electrice de joasă tensiune pentru electrificări urbane și rurale
— posturi și stații de transformare
— reparații și verificări de transformatoare de forță
— reparații și verificări de aparate electrice de măsură și control, prin laboratoarele proprii, PRAM.

Întocmește:

— studii tehnico-economice pentru lucrări noi și îmbunătățirea instalațiilor existente
— proiecte de execuție pentru linii aeriene și subterane, posturi și stații de transformare, instalații de iluminat exterior

I.R.E.BRAȘOV

- asigură o bună deservire a consumatorilor de energie electrică din sectorul industrial, agricol și feroviar
- proiectează și execută rețele, posturi, stații de medie și înaltă tensiune, branșamente și instalații interioare în mediul urban și rural, la orice categorie de consumatori

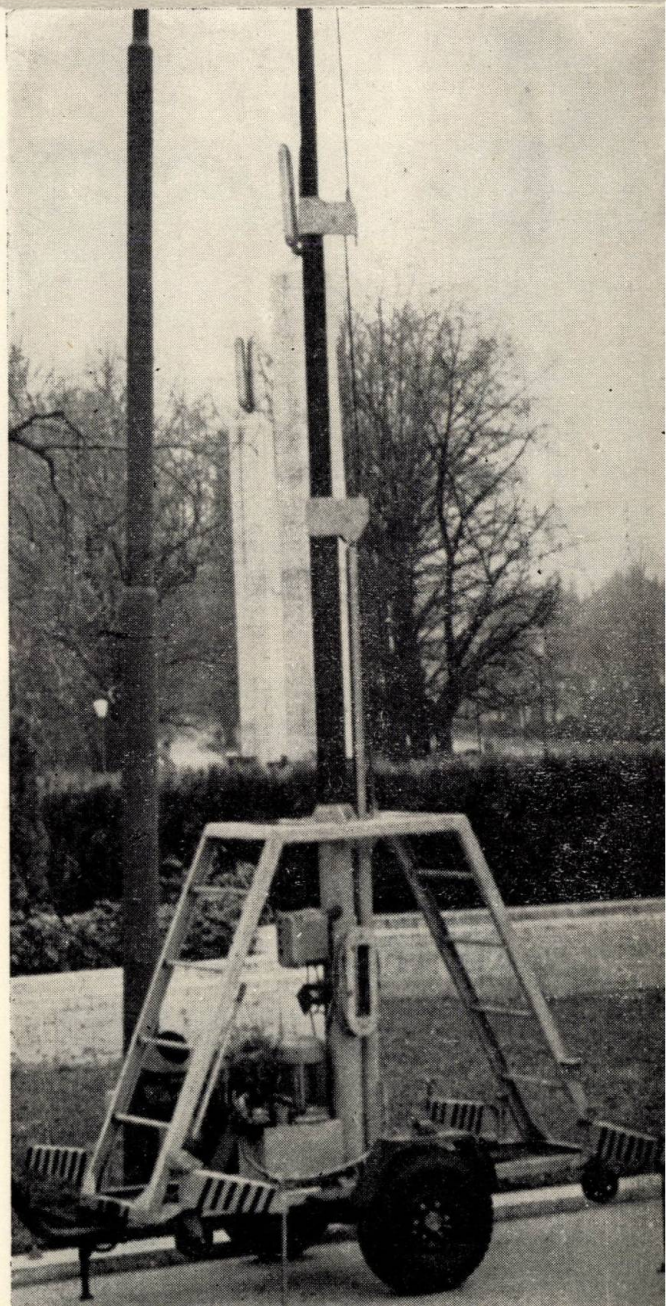
UN NOU PRODUS:

platforma telescopică hidromecanică tractată

ENERGO REPARAȚII

PT 12-HM

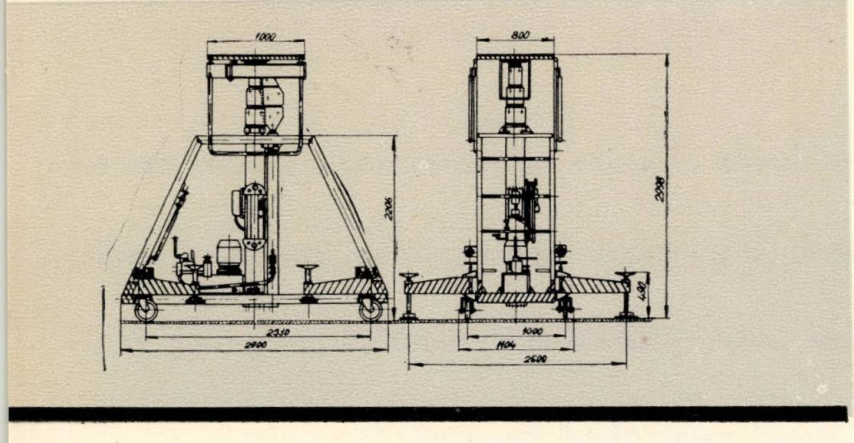
Destinată lucrului la înălțime în stații electrice, hale industriale, incintele întreprinderilor și șantierelor



CARACTERISTICI TEHNICE:

- **Înălțimea maximă de lucru** — **12 m**
- **Sarcina maximă de ridicat** — **180 kg**
- **Tensiunea maximă de lucru pentru platforma de lucru izolată** — **400 V**

Platforma poate fi livrată la comandă cu o punte pe pneuri pentru transportul rutier.



ÎNTREPRINDEREA DE DISTRIBUŢIE A ENERGIEI ELECTRICE BUCUREŞTI

IDEB Bucureşti IDEB Bucureşti IDEB Bucureşti IDEB Bucureşti IDEB Bucureşti IDEB

Proiectează

Execută

Exploatează

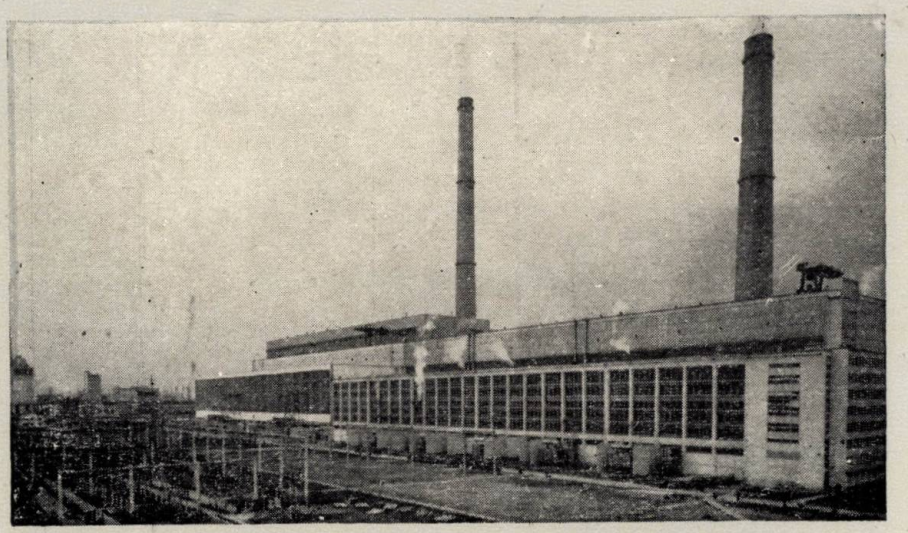
instalaţiile electrice de joasă, medie şi înaltă tensiune pentru alimentarea consumatorilor casnici, a obiectivelor social-culturale şi a unităţilor industriale de pe teritoriul municipiului Bucureşti

i.c.e.t. craiova

- produce şi furnizează energie electrică sistemului energetic naţional
- produce şi livrează căldură consumatorilor industriali din zonă

- C E T Craiova dispune de o putere instalată de 1000 MW

- C E T Craiova este înzestrată cu grupuri moderne şi instalaţii cu un înalt grad de automatizare şi de concentrare a comenzilor



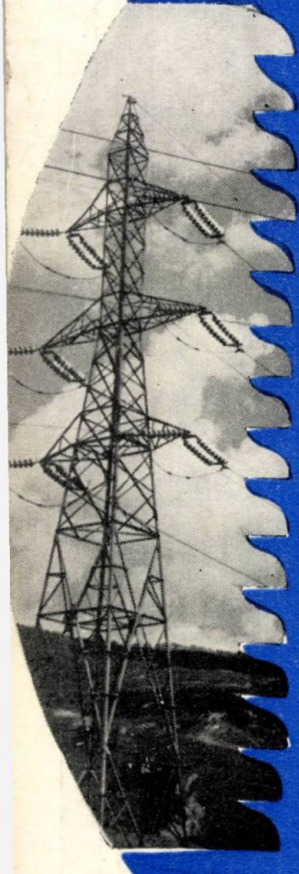
TRUSTUL ELECTROMONTAJ

TELEFON 16.63.30

1970 MAJ 30

Execută prin unitățile sale de construcții:

- Stații electrice și posturi de transformare
- Linii electrice de transport pentru tensiuni pînă la 400 kV
- Linii electrice de distribuție
- Electrificări rurale



Produc prin unitățile sale industriale:

- Stîlpi metalici
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat
- Stîlpi de beton armat centrifugat sau vibrat, pretensionați
- Celule și panouri pentru centrale și stații electrice
- Posturi de transformare urbane și rurale complet prefabricate
- Diverse prefabricate pentru centrale electrice, stații, posturi de transformare și linii electrice de transport și distribuție

TEM

BUCUREȘTI, CALEA MOȘILOR 158,